

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/HR05/000011

International filing date: 03 February 2005 (03.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: HR  
Number: P20040269A  
Filing date: 19 March 2004 (19.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 07 April 2005 (07.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



REPUBLIKA HRVATSKA  
DRŽAVNI ZAVOD ZA INTELEKTUALNO VLASNIŠTVO

HR05/11

## SVJEDODŽBA O PRAVU PRVENSTVA PRIORITY CERTIFICATE

Državnom zavodu za intelektualno vlasništvo podnesena je prijava patenta s podacima kako slijedi:  
*The State Intellectual Property Office received the patent application containing the following indications:*

(71) Ime(na) podnositelja prijave ili tvrtka i sjedište: / *Name(s) of applicants:*

Miroslav Rak  
Šandora Petefija 176  
31000 Osijek, HR

(22) Datum podnošenja prijave patenta: / *Date(s) of filing of the application(s):* 19.03.2004.

(21) Broj prijave patenta: / *Number(s) assigned to the application:* P20040269A

(54) Naziv izuma: / *Title of the invention:*

TOPLINSKI HIDROSTROJ S RECIRKULACIJOM NA VRUĆI PLIN

Ovime se potvrđuje da su navedeni podaci kao i prilog istovjetni s izvornikom.  
*This is to certify that the enclosed data are identical to the original.*

U Zagrebu, 31.03.2005.

Klasa: UP/I-910-08/05-020/0011  
Ur. br.: 559-03/4-05-023



Mr. sc. Zeljko Topić, dipl. oec.

## TOPLINSKI HIDROSTROJ S RECIRKULACIJOM NA VRUĆI PLIN

### OPIS IZUMA

#### Područje tehnike na koje se izum odnosi

Izum pripada grupi postrojenja volumetrijskih motora na vrući plin za pretvaranje toplinske energije u mehanički rad s oznakom F 02 G 1/ 04 (podgrupa 1/ 043 ili 1/ 044) po MKP (1994.). Dovođenje toplinske energije predviđeno je uz vanjsku stranu većeg broja zagrijanih cilindara ili kolektorskih izmjenjivača (podgrupa 1/ 044), prenoseći ju na stlačiv radni fluid (plin), neovisno u svakom cilindru pod tlakom u zatvorenom kružnom procesu. Rad toplinskog hidrostroja omogućuje ekspanzija i kompresija mase stlačivog radnog fluida (plina), koji se zagrijava i hladi (podgrupa 1/ 047) istovremeno u više neovisnih cilindara, prenoseći rad na slobodne aksijalno potiskivane radne klipove (ili alternativno membrane). Kretanje radnih klipova je pravocrtno-povratno, najčešće paralelno s glavnim vratilom (može imati i neki drugi položaj kao npr. okomiti ili kosi na glavno vratilo), koji zajedno s cilindrima uz pomoć surađujućih članova ostvaruju pomoćno relativno rotacijsko kretanje oko glavne osovine.

Po idejnoj koncepciji temelji se na ključnom pretežito izotermnom principu ekspanzije i kompresije radnog medija koji je između inih promjena stanja zastupljen u desnokretnom zatvorenom radnom ciklusu. Njih prepoznajemo kao tzv. «izotermne» radne cikluse koji se pojavljuju u literaturi prema njihovim autorima pod nazivom: Carnot-ov, Stirling-ov, Ericsson-ov, Reitlinger-ov, Ackert-Keller-ov ciklus, već prema tome koje su još osim izotermnih promjena stanja zastupljene u radnom ciklusu i kako se dovodi, odnosno odvodi toplina.

Budući da u pretežito izotermnom radnom ciklusu ovog izuma srećemo novu kombinaciju neizotermnih promjena stanja, koje ne možemo prepoznati u pojedinačnim naznačenim tipskim primjerima poznate prakse, ovaj je radni ciklus jedinstven, uvjetovan novom tipskom konstrukcijskom izvedbom toplinskog stroja. Radi toga je to novi originalni način termodinamičke pretvorbe topline u mehanički rad, koji nam otvara nove mogućnosti razvoja, usavršavanja i razvrstavanja volumetrijskih strojeva na vrući plin.

Uvođenjem sekundarnog medija (recirkulirajućeg nestlačivog medija-kapljevine) s druge strane klipova, kao sekundarnog prijenosnika rada u obliku zatvorenog recirkulirajućeg hidrodinamičkog strujanja u hidrauličkom dijelu stroja, konstrukciju možemo svrstati u opću neodređenu grupu složenih volumetrijsko-strujnih, klipno- turbinskih motora ili pogonskih strojeva sa oznakama: F 01 B, F 01 C i F 01 D po MKP(1994.). U grupi F 02 G 1/04 nije naznačen «strujni» način rada, karakterističan za sekundarno hidrodinamičko strujanje u turbini složenog pogonskog stroja (postrojenja), pa ni ta oznaka u potpunosti ne kvalificira izum.

#### Tehnički problem

Tehnički problem koji se rješava izumom je pretvorba toplinske energije u koristan mehanički rad, prikazana originalnim mješovitim desnokretnim kružnim ciklusom. Termodinamički ciklus na kojem se temelji rad ovog tipskog toplinskog stroja nastao je kombinacijom danas poznatih ciklusa u kojima prevladavaju izotermne promjene stanja i mješavina ostalih teoretskih promjena stanja, koje ne nalazimo u svakom od poznatih pojedinačnih idealnih radnih ciklusa, poglavito radi načina dovođenja i odvođenja topline.

Općenito pretvorba toplinske energije u mehanički rad moguća je na mnogo načina. Od teoretskih desnokretnih termodinamičkih ciklusa najznačajniji je Carnot-ov ciklus (1824.) s dvije izotermne i dvije adijabatske promjene stanja. Ovaj idealan termodinamički ciklus je zamišljen s idealnom konstrukcijom toplinskog stroja u četiri cilindra, ali nažalost nikad nije ostvaren u praksi, iako i danas ima neprocjenjivo teoretsko značenje za razvoj toplinskih strojeva i usporednu ocjenu valjanosti stvarnih ciklusa.

Ekvivalentan Carnot-u je Stirling-ov toplinski ciklus (1871.) zamišljen u zatvorenom sustavu između dvije izoterme i dvije izohore. Za razliku od Carnot-a ostvaren je u jednocilindričnom stroju s vrućim zrakom (1816.) mnogo prije nego li je potpuno teoretski objašnjen. Temeljna Stirlingova konstrukcija doživjela je nepregledan niz konstrukcijskih rješenja i usavršavanja, a ovaj izum djelomice počiva na tom izvornom rješenju, pa će u nastavku biti detaljnije prikazan. Vrlo je vrijedan pažnje Ericsson-ov ciklus (1853.) zamišljen između dvije izoterme i dvije izobare s vrućim zrakom kao radnim plinom u otvorenom sustavu uz upotrebu regeneratora u obliku toplinske spužve. U praksi je ostvaren s dva cilindra i regeneratom. Sličan je i Reitlinger-ov ciklus (1873.) također temeljen na dvije izoterme kao najpovoljnije promjene stanja i dvije politrope s kojima se postiže najveći rad uz primjenu tog karakterističnog sklopa toplinskog regeneratora. U praksi je ostvaren s dva cilindra i regeneratom. Zamjenimo li u Carnot-ovom ciklusu adijabatske promjene stanja izobarama, tada imamo teoretski Ackert-Keller-ov ciklus s dvije izoterme i dvije izobare. Zamišljen je u konstrukcijskoj izvedbi stroja s dva cilindra i izmjenjivačkim sklopom u velikom toplinskom spremniku. Ova konstrukcija u praksi nije ostvarena, pa ciklus ima samo teoretsko značenje. Ovaj teoretski ciklus ima neke sličnosti sa ciklusom na kojem se

temelji ovaj izum, a razlikuju se u jednoj promjeni stanja gdje se izobara zamjenjuje izohorom, ali bitna je razlika u načinu dovođenja i odvođenja topline, brzini promjene stanja i kontinuitetu procesa.

Karakteristično je i zajedničko za sve naznačene neostvarene i u praksi ostvarene desnokretne kružne cikluse da u svojoj temeljnoj postavci obavezno sadrže po dvije izotermne promjene stanja. One u kombinaciji s još dvije iste ili više različitih neizotermnih promjena stanja čine ciklus, koji u biti gotovo redovito sadrži akumulaciju i regeneraciju topline i teoretski obećava postizanje najvećeg korisnog rada.

Pri rješavanju tehničkog problema ovim izumom pošlo se od te činjenice da budući termodinamički ciklus nove konstrukcije toplinskog stroja također mora sadržavati dvije približno izotermne promjene stanja, koje će u kombinaciji s još barem dvije različite ostvarljive neizotermne promjene stanja odrediti tip konstrukcijskog rješenja u praksi. Također i kod ovog izuma pri neizotermnim promjenama stanja ostvaruje se nužna akumulacija i regeneracija toplinske energije, ali u obliku hidrodinamičkog strujanja sekundarnog medija, dakle bez uvođenja dodatnih karakterističnih sklopova za uskladištenje toplinske energije, koji su racionalizirani ostvarivanjem više zamjenskih funkcija elemenata postojećih sklopova.

Za praktičan prikaz tehničkog problema prikladan je ostvaren Stirling-ov ciklus (1871.) s klipovima koji se temelji na vrućem i hladnom cilindru, čiji su klipovi u temeljnoj izvedbi učvršćeni na istoj osovini s faznim kutom pomaka. Time se postiže da isti radni plin najprije pretežito ekspandira iz vrućeg prostora, a zatim razvodnikom premješten u hladni (dio) cilindra, komprimira uglavnom u hladnom prostoru. Budući da ekspanzija vrućeg radnog plina daje više rada nego što troši kompresija hladnog plina, razliku čini koristan rad između kruto spojenih klipova na glavnoj osovini stroja. Nedostatak je ovakvog rješenja u tome što se radi faznog kuta pomaka između ekspanzije i kompresije nikada ne postiže da je sav radni plin vruć ili sav alternativno hladan, već smjesa vrućeg i hladnog plina sudjeluje u termodinamičnom ciklusu. Radi toga smjesa plina daje manje rada pri ekspanziji, a više troši pri kompresiji, pa je proces s obje strane pogoršan. Novijim konstrukcijskim rješenjima bez klipa nedostatak nastao radi faznog kuta pomaka i krute veze, premostio se razvodnikom koji je periodično sav radni plin naglo prebacivao iz vrućeg u hladni prostor i tako u procesu sudjelovao samo kao vruć ili samo kao alternativno hladan. Temeljem toga je postignuta djelomice veća korisna razlika rada na osovini stroja, ali je dodatno uveden složeniji sustav poluga za periodično razvođenje plina. Ipak, unatoč poboljšanju, ostao je ključni nedostatak rješenja tehničkog problema, a to je diskontinuitet procesa pretvorbe toplinske energije u mehanički rad, uvjetovan načinom dovođenja i odvođenja topline s nepokretnih cilindara u vrućem i hladnom prostoru.

U praksi nije moguće postići kontinuirane čisto izotermne promjene stanja u stvarnom ciklusu, pa su konstruktori za rješenje općeg tehničkog problema tražili tipski jednostavno, ali učinkovito konstrukcijsko rješenje kojim bi se barem približili tom željenom cilju, dograđujući razna tehnička poboljšanja, koja su u pravilu komplicirala konstrukciju. Uvođenjem nužno dodatnih toplinsko karakterističnih sklopova i uređaja razvodnika, regeneratora ili akumulatora topline značilo je u teoretskom smislu izjednačavanje učinka naznačenih zatvorenih ciklusa (Stirling, Ericsson, Reitlinger) s Carnot-om, ali u praksi nije bilo tako. Uvođenjem dodatnih karakterističnih sklopova samo djelomice i ograničenog dosega poboljšavao se u praksi kvalitet ostvarenog ciklusa, ali se dodatno komplicirala konstrukcija, što odstupa od davno poznatog temeljnog načela jednostavnosti konstrukcije. Budući da u stvarnosti nema potpune izmjene topline, unatoč dograđenim konstrukcijskim sklopovima za poboljšanje, ne postižu se čisto izotermne promjene stanja i potpuna regeneracija topline, pa današnje tipske konstrukcije imaju termodinamičkih nedostataka. Glavni problem je što postoji diskontinuitet između dovođenja topline radnom cilindru i ekspanzije radnog plina, odnosno između odvođenja topline radnom cilindru i kompresije radnog plina, a koja je kod dosadašnjih klasičnih konstrukcija uvjetovana brzinom promjena razvođenog plina, faznim kutom pomaka između kruto povezanih klipova i statikom cilindara u odnosu na dovođenje topline u vrućem prostoru i odvođenjem topline u hladnom prostoru. Tako u praksi ekspanzija radnog fluida u nepomičnom cilindru ne traje istovremeno za sve vrijeme dovođenja topline, a također kompresija ne traje istovremeno za sve vrijeme odvođenja topline s nepomičnog cilindra, što neminovno uvjetuje dogradnju karakterističnih sklopova za akumulaciju i regeneraciju topline. To za posljedicu ima smanjen učinak toplinskog stroja ili izravno manji koristan rad. Unatoč naznačenim poboljšanjima tipskih konstrukcija glavni tehnički problem je ostao, a to je toliko naglašen diskontinuitet termodinamičkog ciklusa koji se sastoji u tome što promjena stanja ekspanzije i kompresije u stvarnosti traju kraće nego što traje kontinuirano dovođenje odnosno odvođenje topline nepomičnim cilindrima. Brža promjena stanja izrazito korigira izotermnu ekspanziju i kompresiju u politrope s lošijim učinkom korisnog rada. Ta neusklađenost trajanja ključnih promjena stanja istog radnog fluida ostvarenog ciklusa, unatoč istovremenom odvođenju i dovođenju topline radnim cilindrima, još uvijek je nepremostiv nedostatak dosadašnjih rješenja. Tako se na temelju naznačenih termodinamičkih principa tehnički problem pretvaranja toplinske energije u mehanički rad rješavao na bezbroj tipskih konstrukcijskih varijanti, a nastavlja se i danas manje ili više uspješno.

Analizirajući teoretske cikluse ostvarene u praksi u jednom, dva ili više nepokretnih cilindara s istim razvođenim radnim fluidom nameće se važno pitanje može li se konstruirati toplinski stroj u kojem će se klasični ekspanzioni cilindar zamijeniti sa više neovisnih pokretnih cilindara s i neovisnim radnim fluidom kojima će se istovremeno dovoditi toplina, a klasični kompresioni cilindar zamijeniti s više neovisnih pokretnih cilindara i neovisnim radnim fluidom od kojih će se

istovremeno odvoditi toplina. Ukoliko je to moguće, za što u biti nema nikakvih poteškoća, onda veza između neovisnih ekspanzija i kompresija prema radnoj osovini ne može kao do sada ostati kruta (koljenasta osovina ili kruti mehanički mehanizam), već mora biti prilagodljiva veza kao što je npr. hidrodinamičko strujanje sekundarnog nestlačivog medija. Nameće se i drugo važno pitanje: je li moguće djelomice ili u potpunosti ukloniti razvodnike, akumulatore ili regeneratore topline, pomoću kojih se naizmjence razvodi ili prevodi isti radni fluid, kako bi se omogućio ili poboljšao ciklus. Odgovor je također potvrđan radi li se o više zasebnih sadržaja primarnog radnog fluida u neovisnim cilindrima, koji se svaki zasebno, postepeno i relativno sporo premještaju iz vrućeg u hlađeni prostor, umjesto dosadašnjeg načina razvođenja i prevođenja radnog plina preko akumulatora ili regeneratora topline. Tako bi se sva dovođena i sva odvođena toplina gotovo istovremeno, izotermnski razmjenjivala s onim radnim fluidom koji sudjeluje u određenoj fazi ciklusa, bilo ekspanzije ili kompresije. Prema ovim zahtjevima, ovim izumom, konstruirati će se takav toplinski stroj, koji znači idejno novo, jednostavno i tehnički ostvarljivo rješenje. Njime se na najbolji mogući način približavamo teoretskom ciklusu i rješavamo opći tehnički problem pretvorbe topline u koristan mehanički rad.

Tehnički problem neostvarenih i ostvarenih desnokretnih termodinamičkih ciklusa je pronaći novo tehničko rješenje tipske konstrukcije toplinskog stroja kojim bi se toplina na najlakši i najjednostavniji način, uz najbolji učinak, pretvorila u mehanički koristan rad. Tehnički problem je moguće riješiti udovoljenjem i ostvarivanjem nekoliko strateški bitnih termodinamičkih i tehnološko-konstrukcijskih zahtjeva i to:

- temperaturu ekspanzije radnog fluida što više približiti temperaturi izvora topline, a temperaturu kompresije radnog fluida što više približiti temperaturi hlađenog prostora (okoline);
- ukloniti diskontinuitet promjena stanja između ekspanzije i kompresije, nastao kao posljedica faznog kuta pomaka radnog i razvodnog klipa koji su najčešće kruto vezani na istu osovinu ili su povezani krutom pogonskom mehaničkom vezom;
- vrijeme trajanja ekspanzije povećati da skoro dostigne vrijeme dovođenja topline, a vrijeme trajanja kompresije povećati da skoro dostigne vrijeme odvođenja topline;
- sav radni stlačiv fluid maksimalno zagrijati ili alternativno maksimalno ohladiti pri što kraćim neizotermnim promjenama stanja u ciklusu i tako najveći dio topline samoregenerirati bez uvođenja dodatnih karakterističnih sklopova, akumulatora ili regeneratora topline;
- da se brzina promjene stanja ekspanzije odvija kontinuirano i relativno sporo za sve vrijeme dovođenja topline, a promjena stanja kompresije kontinuirano i relativno sporo za sve vrijeme odvođenja topline čime se postiže izotermni kontinuitet;
- što većim kompresionim omjerom radnog cilindra pozitivan rad ekspanzije maksimalno povećati, a negativan rad kompresije svesti na najmanju moguću mjeru, što bi značilo povećanje korisnog rada i dodatno poboljšanje učinka toplinskog stroja;
- konstrukciju izmjenjivačkog sklopa (cilindra) po izdržljivosti, veličini i obliku prilagoditi vrsti izvora topline ili hlađenom prostoru (okolini), kako bi se sva raspoloživa toplina, skoro bez gubitaka, prenijela na radni fluid ili od njega predala hlađenom prostoru, odnosno povećao intenzitet razmjene topline;
- povećanjem odnosa radnog tlaka i gustoće, odnosno povećanjem mase stlačivog radnog fluida u zatvorenom sustavu ostvariti mogućnost prihvata ili odavanja veće količine topline i tako smanjiti dimenziju stroja.

#### Stanje tehnike

Svi toplinski strojevi s vanjskim dovodom topline danas rade na principu zatvorenog regenerativnog termodinamičkog ciklusa u kojem isti radni fluid sukcesivno najprije ekspandira a zatim komprimira pri različitim temperaturnim razinama. Korisni mehanički rad ostvaruju kao razliku dobivenog rada ekspanzijom na višoj temperaturnoj razini i utrošenog rada pri kompresiji na nižoj temperaturnoj razini.

Konstruktori toplinskih strojeva nastojali su različitim konstrukcijskim varijantama oponašati danas poznate teoretske desnokretne cikluse s manjim ili većim uspjehom kao što je npr. Carnot, Stirling, Ericsson, Reitlinger, Ackert-Keller i dr. po kojima su dobili nazive. Jedan od najpoznatijih, Carnot-ov teoretski ciklus, ostao je samo na razini teoretskih razmatranja, jer nikad u praksi nije realiziran. Poznat je kao ogledni teoretski termodinamički ciklus s najvišim termodinamičkim stupnjem korisnosti prema kojem su se uspoređivali ostali. Radi toga su se ulagali napor u traženju konstrukcijskih tehničkih rješenja prema naznačenim ostvarljivim ekvivalentnim termodinamičkim ciklusima kao što je npr. Stirling. Tako se Stirling-ov ciklus mogao lako realizirati već samo s jednim radnim cilindrom, dok Carnot-ov nije mogao ni s četiri. Ostvoreni ekvivalentni ciklusi ipak nisu doživjeli masovnu primjenu zbog praktičnih nedostataka, koji nisu nikako ili su samo djelomice uklonjeni. Radi toga ni stupanj korisnosti jednostavnijih praktičnih tehničkih rješenja nije bio zadovoljavajući, dok su oni složeniji, s dodatnim karakterističnim sklopovima i boljim stupnjem korisnosti prelazili prag ekonomičnosti izrade za masovnu uporabu.

Sve dosadašnje Stirling-ove konstrukcije izvedene su tako da se toplina dovodi s vanjske strane nepomičnom cilindru, a kretanje izvode klipovi pod ekspanzijom radnog plina, prenoseći rad na osovinu. Pri tome se toplina dovodila izravno razvodnom cilindru ili neizravno preko vrućeg izmjenjivača topline, a odvodila izravno s hlađenog dijela razvodnog cilindra ili neizravno preko hlađenog izmjenjivača topline. Uvođenjem izmjenjivača topline i povezivanjem s razvodnim

cilindrima u vrućem i hladenom prostoru, samo je mjera poboljšanja kojom se povećava površina za intenzivniju razmjenu topline. Ova tehnička mjera će imati samo ograničavajući učinak na pretvorbi topline u mehanički rad, jer pretvorba ovisi o brzini i usklađenosti promjena stanja u ciklusu s načinom dovođenja ili odvođenja topline. U samom početku Stirling-ov stroj se sastojao od jednog razvodnog cilindra, razvodnog klipa u razvodnom cilindru i jednog radnog cilindra s radnim klipom. Pomoću razvodnog klipa plin se premještao iz vrućeg u hladni prostor razvodnog cilindra, koji je bio povezan s radnim cilindrom i radnim klipom. Oba klipa su bila kruto povezana na istoj radnoj osovinu i nalazili su se u faznom kutu pomaka. Dovođenje, odnosno odvođenje topline odvijalo se kontinuirano, a sam proces pretvorbe topline u mehanički rad bio je diskontinuiran, jer se odvijao naizmjenično u fazama, što je bila posljedica faznog kuta pomaka između razvodnog i radnog klipa. Utoliko je, radi toga, termodinamički ciklus bio pogoršan. Suvremenijim konstrukcijama uspjelo se postići da je sav radni plin samo alternativno vruć ili samo alternativno hladan, čime se poboljšao do određenog dosega stupanj korisnosti. Ostao je glavni problem diskontinuiteta zbog načina dovođenja ili odvođenja topline i promjena stanja istog razvođenog radnog plina, što je nužnost za takav tip konstrukcije toplinskog stroja. Diskontinuitet procesa sastojao se u tome što ekspanzija radnog plina ne traje za sve vrijeme intenzivnog dovođenja topline, a kompresija radnog plina ne traje za sve vrijeme hlađenja, jer se isti radni plin naizmjenice sav prebacuje tren u vrući, tren u hladni dio cilindra. Samo je djelomice ovaj problem diskontinuiteta ublažen uvođenjem akumulacije na vrućoj strani samog cilindra koji prima toplinu od izvora za vrijeme kompresije ili intenzivnim pothlađivanjem druge strane cilindra za vrijeme ekspanzije. Tako nije zadovoljeno temeljno načelo, pretvaranje topline u rad na najjednostavniji način onim intenzitetom kako nam ju pruža izvor bez dodatnih, makar jednostavnijih karakterističnih uređaja, akumulacije, razvodnika, regeneratora topline ili sustava mehaničkih poluga.

Razvojem i usavršavanjem klasičnog tipa Stirling-ova motora dograđivani su karakteristični sklopovi kao što su visokoučinski izmjenjivač topline, razvodnici plina, regeneratori topline, polužni mehanizmi za prijenos rada i/ili ostvarivanje krute veze između ekspanzije i kompresije, što je davalo ograničen doseg učinka. Dograđivani karakteristični sklopovi s druge strane komplicirali su konstrukciju, radi čega je ona postala skupa i u praksi neprihvatljiva za široku primjenu. U početku su se klasične konstrukcije Stirling-ova motora sastojale od pet karakterističnih sklopova i to: radnog klipa, hladnog i vrućeg izmjenjivača, razvodnika i regeneratora. Tada je broj karakterističnih sklopova racionaliziran na svega tri, spajanjem više funkcija nekih elemenata u zajedničku cjelinu, što je pojednostavilo konstrukciju, ali je otvaralo nove probleme koji su se ogledali u smanjenom ekstenzitetu sustava.

**P r i k a z s t a n j a t e h n i k e** (prema literaturi «Pokretna moć vatre tri stoljeća toplinskih motora» autor Davor Fulanović- Ivo Kolin; izdanje Tehnički muzej Zagreb; Hrvatska 1999.)

**P a p i n (1690.)- S o v e r y (1698.)**

Toplinski hidrostroj s recirkulacijom ima neke sličnosti s rudarskom parnom crpkom koju je patentirao Thomas Sovery (1698.), a koja se temelji na atmosferskom parnom stroju Papin (1690.). Rudarska parna crpka sastojala se od dvije vodene tlačne radne posude i parnog kotla kao izvora i akumulatora topline. Jedna od posuda zagrijavala bi se izravnim dovođenjem pare iz kotla ostvarujući (ekspanzijski) predtlak potiskujući vodu preko para nepovratnih ventila, dok bi se druga posuda istovremeno naglo hladila ostvarujući (kondenzacijski) podtlak, usisavajući vodu također preko drugog para nepovratnih ventila. Ta istovremenost bitna je sličnost u termodinamičkom smislu s prijavljenom konstrukcijom. Posude bi radile naizmjenice u periodičnim vremenskim razmacima, ostvarujući istovremeno najprije potisne, a zatim usisne učinke koji, iako su bili usklađeni s ekspanzijom i kondenzacijom pare, nisu imali obilježje potpuno kontinuiranog ciklusa, prije svega radi malog broja posuda, načina dovođenja topline ili hlađenja i prekidnosti kontinuiteta strujanja. Parni kotao kao akumulator topline i dodatni karakterističan sklop povećavao je složenost konstrukcije koja je utjecala ne samo na cijenu, već i na učinkovitost stroja s malim stupnjem korisnosti.

Kod izuma koji se predlaže u ovoj patentnoj prijavi uvodi se veći broj pokretnih neovisnih parcijalnih cilindara, koji u biti zamjenjuju stabilne tlačne posude parne rudarske crpke. U cilindrima se relativno sporo, postepeno i neprekidno izmjenjuju skoro izotermne parcijalne ekspanzije i kompresije stlačivog radnog fluida, preklapajući se istovremeno za sve vrijeme posrednog dovođenja ili odvođenja topline preko izmjenjivača topline. Time se toplinskom ciklusu daje obilježje skoro potpuno izoternog kontinuiteta, poboljšanog s obje strane, usklađenog s mogućnostima izvora topline. Radi toga za dovođenje topline nije nužan parni kotao i/ili rezervoar kao akumulator topline, što pojednostavljuje konstrukciju, već se izravno mogu koristiti prirodni izvori topline iz okoline s malim temperaturnim razlikama. Umjesto klasičnog sustava para nepovratnih ventila koji je primijenjen kod rudarske parne crpke, kod ovog prijavljenog patenta primijenjen je originalan sustav usmjernih, povratno recirkulirajućih, povratno izuzimajućih kanala i turbinskog lopatičnog kola s recirkulirajućim nestlačivim medijem. Toplinska energija se obostrano i kontinuirano bez akumulacije, regeneracije ili odgađanja odmah pretvara u rad, a dijelom se akumulira u netoplinski oblik kontinuirane hidrodinamičke energije strujanja recirkulirajućeg medija, ostvarujući okretni mehanički rad na glavno vratilo stroja. Upravo radi toga ovom toplinskom hidrostroju nije potreban klasični akumulator ili regeneratorski toplina, jer tu ulogu preuzima sekundarni recirkulirajući medij kao katalizator procesa.

**Stroj na vrući zrak - Stirling (1815.)**

Prvi Stirling-ov stroj na vrući zrak bio je vrlo jednostavan s vanjskim dovodom topline. Imao je dva klipa, radni kraći klip u manjem zasebnom cilindru i dugačak klip veće površine u većem zasebnom cilindru, koji su bili povezani istom koljenastom osovinom s faznim kutom pomaka za 90°. Dugački veći klip imao je više funkcija. Služio je i kao akumulator i regenerator topline. Budući da je bio 1% manjeg promjera od cilindra istovremeno je služio kao razvodnik za premještanje radnog plina iz vrućeg u hladni prostor velikog cilindra omogućujući ostvarivanje ekspanzijskog rada u malom cilindru. Koristan rad na osovini stroja dobio se iz razlike ekspanzijskog i kompresijskog rada na malom klipu u malom cilindru. Ovaj motor na vrući zrak usavršen je prebacivanjem radnog klipa u isti cilindar razvodnog klipa (Stirling 1816.). Kod ove konstrukcijske varijante postiže se bolja regeneracija topline pomoću razvodnog klipa veće površine koji bolje prima i odaje toplinu. Ostaje problem što klipnjača dugačkoga klipa prolazi kroz sredinu radnog klipa, pa radni klip mora imati dvije klipnjače koje su, u odnosu na potonju, razmaknute u faznom kutu pomaka za 90°. Osim toga složen pogonski mehanizam ozbiljan je konstrukcijski nedostatak ove tipske konstrukcije. Velika prednost ovog motora na vrući zrak je općenito jednostavnost, miran i nečujan rad, te mogućnost iskorištavanja toplinskih izvora malih temperaturnih razlika uz malo zagađenje okoline. Nedostatak ove prve konstrukcijske varijante je mali stupanj korisnosti koji se može poboljšati uvođenjem novih konstrukcijskih sklopova. Oni dodatno povećavaju složenost i poskupljuju konstrukciju, pa se postavlja pitanje optimizacije zavisnih parametara takvog toplinskog stroja. Međutim, Stirling-ov ciklus detaljno je teoretski obradio znanstvenik Gustav Schmidt (1871.) dokazavši njegovu jednaku teorijsku vrijednost kao što je to Carnot-ov ciklus. Kako je Stirling-ov ciklus za razliku od Carnot-ovog praktično izveden, istina s još uvijek nedovoljnim stupnjem korisnosti, ovaj princip ima perspektivu u razvoju tipskih toplinskih strojeva.

**Stroj na vrući zrak - Stirling (1827.)**

Drugi Stirling-ov stroj na vrući zrak u biti nastavak je usavršavanja prve konstrukcijske varijante kojoj se dodaje savršeniji regenerator od većeg broja perforiranih limova što djeluje kao izmjenjivač topline u oba smjera. Stroj ima dva veća cilindra koji se s jedne strane griju, a s druge hlade. U njima su razvodni klipovi i učinkovitiji regeneratori za premještanje radnog plina iz vrućeg u hladni prostor, predajući ekspanzijski rad na obje strane dvoradnog klipa, ali isto tako trošeći kompresijski rad s obje strane radnog klipa. I kod ove konstrukcijske varijante blagim, ali ograničenim povećanjem stupnja korisnosti u znatnoj mjeri povećava se složenost konstrukcije, pa se gubi ta prednost presudna za masovno korištenje takvog tipa konstrukcije.

**Motor na vrući zrak - Ericsson (1833.)**

Motor se sastoji od ekspanzijskog i kompresijskog cilindra s klipovima koji se također nalaze u međusobnom faznom kutu pomaka. Korišteni fluid je zrak koji ohlađen na početno stanje cirkulira u (zatvorenom) sustavu od kompresijskog cilindra preko ugrijanog regeneratora topline prema ložištu prihvaćajući toplinu do ekspanzijskog cilindra ostvarujući ekspanzijski rad, a potom izlazeći iz ekspanzijskog cilindra odavajući preostali višak topline regeneratoru i hladnjaku ponovo do početnog ulaznog stanja. Razlika između ekspanzije vrućeg zraka i kompresije ohlađenog zraka je koristan rad. I kod ove konstrukcijske varijante uočava se diskontinuitet između ekspanzije i kompresije poglavito zbog faznog kuta pomaka gdje promjene stanja radnog fluida traju kraće nego li je to dovodenje ili odvođenje topline, radi čega su nužni dodatni složeni karakteristični sklopovi kao što su regenerator i hladnjak topline za poboljšanje ciklusa.

**Motor na vrući zrak - James Joule (1851.)**

Motor na vrući zrak gotovo je identičan Ericsson-u (1833.), ali bez regeneratora topline, pa bi da je u praksi ikada izveden, zasigurno imao lošiji termodinamički stupanj korisnosti. Za uzvrat jednostavnije je konstrukcijske izvedbe, pa ipak ostaju, manje ili više ranije, opisani problemi.

**Brodskimotornavrućizrak - John Ericsson (1853.)**

Ericsson je uspio usavršiti i u praksu uvesti brodski motor na vrući zrak. Kompresijski cilindar usisavao je hladan atmosferski zrak do tlačnog spremnika koji bi se predgrijavao preko regeneratora topline i uvodio u ekspanzijski cilindar dodatno zagrijavan vanjskim izvorom topline. Predajući ekspanzijski rad, vrela zrak se ohlađivao u istom poboljšanom regeneratoru topline od guste tanke žičane mreže, što je bila glavna novost te izvedbene konstrukcije. I kod ove konstrukcijske varijante ostaju isti problemi diskontinuiteta ciklusa, faznog pomaka, korištenje dodatnih karakterističnih sklopova, akumulatora zraka i regeneratora topline nešto savršenije izvedbe.

**Motor na vrući zrak - Ericsson (1860.)**

Ovaj motor na vrući zrak izrađen je na temelju Stirling-ova principa gdje zrak nije u zatvorenom sustavu, već se hladan usisava, zagrijava, a poslije ekspanzije još uvijek vruć izbacuje bez regeneratora topline u atmosferu. Radi toga je stupanj korisnosti izuzetno loš, a konstrukcija jednostavna, praktična i pouzdana, što je bio nedovoljan razlog za masovnu uporabu.

**Motor na vrući zrak - Lauberau (1861.)**

Također je izrađena na temelje Stirling-ova principa sa zrakom u zatvorenom sustavu koji je s jedne strane grijan, a s druge hlađen. Poboljšanje se sastoji u tome što su vrući i hladni krajevi cilindra uvučeni, pa je time grijanje i hlađenje omogućeno s unutarnje i vanjske strane cilindra. Osim toga povećana je površina razvodnog klipa pomoću tankog



limenog cilindra, po uzoru kao što je to učinio Ericsson (1860.). Zbog povećanja otpora strujanja zraka oko limova stroj je postizao manju snagu od očekivane. Svi bitni nedostaci koji su ranije naznačeni ostali su i dalje.

#### Motor na vrući zrak – Lehmann (1866.)

Ovaj je motor imao također dva klipa u jednom cilindru, razvodni duži i radni kraći klip, kao opisana savršenija varijanta Stirling-ova motora (1816.). Razlika je jedino u pogonskom mehanizmu i položaju motora što nisu bitna konstrukcijska poboljšanja.

#### Gloy-Stirling-ov motor s njihajućim klipom (1877.)

Ovaj motor je zanimljiv po ideji, jer razvodni klip umjesto vertikalnog kretanja obavlja njihanje premještajući zrak samo iz vrućeg u hlađeni prostor cilindra. I kod ove konstrukcije nisu riješeni bitni problemi diskontinuiteta ciklusa.

Kod toplinskog hidrostroja s recirkulacijom na vrući zrak iz ove patentne prijave kompletno u sklopu neovisni parcijalni cilindri s kolektorima, u kojima je neovisan parcijalni radni fluid, izvode suprotno rotacijsko relativno kretanje od vrtnje radnog kola, prevodeći se bez njihanja najprije preko izvora topline, a zatim hlađenog prostora. No bitna je razlika u tome što se slobodni klipovi neovisnih cilindara još kreću naprijed-nazad (ili alternativno gore-dolje) duž osi parcijalnih cilindara, koja je paralelna s glavnim vratilom motora ostvarujući tako pravocrtno- povratno kretanje.

#### Motor na vrući zrak – John Ericsson (1880.)

Motor je također Stirling-ova tipa s dva klipa u jednom cilindru. Tako je smanjen broj karakterističnih sklopova što je značilo s jedne strane pojednostavljenje konstrukcije dok se pak s druge strane izvedba pogonskog mehanizma komplicirala, jer je klipnjača razvodnoga klipa prolazila kroz pokretni radni klip. Također i ovdje je diskontinuitet procesa pretvorbe i fazni kut pomaka glavni nedostatak konstrukcije u odnosu na predložen model u patentnoj prijavi.

#### Motor na vruću vodu – John Malone (1931.)

Iako je motor radio na vruću vodu umjesto vrućeg zraka temeljio se na konstrukciji Stirling-ovog tipa s poznatim bitnim konstrukcijskim nedostacima o kojima je već bilo riječi. Zbog daleko manjeg koeficijenta širenja tekućine od zraka ova je konstrukcija morala biti dodatno pojačana i prilagođena visokim tlakovima. Osim toga, za mali pomak radnog klipa u radnom cilindru potreban je veći broj dugačkih cijevnih razvodnih cilindara s razvodnim klipovima. Prednost je bolji prijelaz topline na tekućinu nego na parnu fazu, pa stoga motor ima bolji toplinski stupanj korisnosti.

Prijavljena varijanta tipske konstrukcijske izvedbe toplinskog hidrostroja s recirkulacijom na vrući stlačiv fluid (plin) lako se može prilagoditi i na vrući nestlačiv fluid (tekućinu). Ona u biti već ima sekundarni nestlačiv recirkulirajući medij kao prijenosnik rada koji može djelomice ili u potpunosti zamijeniti zrak ili parnu fazu i tako postati primarni prijenosnik rada, kako je to predložio Malone. Kako inače prijavljena konstrukcija nema razdvojen razvodni i radni cilindar s klipovima koji su kruto povezani u faznom pomaku, oni postaju jedan karakterističan sklop, što znači pojednostavljenje konstrukcije. Upravo su kao dobra alternativa Malone-ovi cijevni cilindarski izmjenjivači s razvodnim klipovima pogodni za prenamjenu u segmentne radne cijevne cilindarske izmjenjivače s radnim klipovima u prijavljenoj konstrukciji. Za slučaj potpune ili djelomične zamjene stlačivog fluida (zraka) s daleko manje stlačivim, ili uvjetno nestlačivim fluidom (tekućinom) u nekoj od alternativna radni klipovi čak ne bi bili potrebni. Ali tada se, u krajnjem slučaju, javlja problem kompenzacije visokih tlakova usljed širenja tekućine u krutom zatvorenom sustavu koji se jedino može ostvariti stlačivim kompenzatorom. Radi toga se ponovno vraćamo na ideju varijante stlačivog radnog fluida u kombinaciji s recirkulirajućim nestlačivim medijem kao prijenosnikom snage, iako je prijelaz topline na zrak lošiji.

#### Philipsov mehanizam – Stirling – ov motor (1947.)

Ovom nešto savršenijom konstrukcijskom varijantom od dotadašnjih konstrukcija oba klipa, razvodni i radni klip, smješteni su u istom cilindru. Da bi se zadržala kruta veza između klipova i radne osovine, te fazni kut pomaka između klipova bilo je potrebno izraditi tada tehnološki kompliciranu, višestruko savijenu koljenastu osovinu. Iako koljenastu osovinu današnjom tehnologijom nije problem napraviti, jer ju je već 1954. godine uspješno primijenila tvrtka Philips na lijevokretnom rashladnom stroju, ona se izbjegava. Tako je 1958. godine primijenjen Meijer-ov rombni pogon kao jednostavnije i prihvatljivije rješenje mirnog jednolikog pogona Stirling-ova motora. No i rombni pogon je u biti kruta fazna veza između klipova sa sličnim učincima na toplinski ciklus. Iako su ovom konstrukcijom nastupila izvjesna poboljšanja, glavni nedostaci su ostali, a to je diskontinuitet procesa pretvorbe toplinske energije u mehanički rad. Pri tome, posebice ekspanzija, odnosno kompresija ne traju koliko traje dovođenje, odnosno odvođenje topline ili traju kraće, periodično se nepotpuno izotermnski izmjenjujući u skladu s krutim pogonskim mehanizmom u faznom pomaku koji ih povezuje. Radi toga razvodni klip, iako je racionalno smješten u istom cilindru kao i radni klip, osim uloge razvođenja radnog fluida, ima ulogu akumulatora topline koji u biti ipak smanjuje stupanj korisnosti toplinskog stroja.

Prijavljenom tipskom konstrukcijom toplinskog hidrostroja s recirkulacijom na vrući plin ovi nedostaci se uklanjaju, a ciklus dobiva savršeniji izotermni kontinuitet bez akumulatora topline (razvodnog klipa) i krute fazne pogonske veze (koljenaste osovine ili rombno mehanizma), koju zamjenjuje sekundarni recirkulirajući nestlačiv medij kao katalizator procesa.



### Moderni motor Stirling-ova tipa-Meijer (1958.)

Kako je već naznačeno, Meijer (1958.) je umjesto koljenaste osovine (Philips 1947.) primijenio jednostavniji rombní mehanizam koji je osigurao miran i jednolik rad motora. Osim toga, po uzoru na ranije konstruktore koji su predlagali i pokušavali povećanje ogrijevne površine cilindra, uveo je originalan cijevni izmjenjivač za intenzivnije grijanje jednog dijela cilindra, a isto tako pomoću bloka cijevnih izmjenjivača poboljšao hlađenje drugog dijela cilindra. Između vrućeg i hladnog dijela cijevnih izmjenjivačkih sklopova uveo je regenerator. Dodatno poboljšanje još je i predgrijavanje zraka za sagorijevanje, što je sve rezultiralo zavidno visokom stupnju korisnosti. I kod ove konstrukcije ostaju dva klipa u jednom cilindru. Osim regeneracije topline pomoću razvodnoga klipa to dodatno poboljšava regenerator između cijevnih izmjenjivačkih sklopova koji predstavlja dodatni karakterističan sklop kojeg treba, ako je moguće, izbjeći. Iako su cijevni izmjenjivački sklopovi za grijanje i hlađenje mnogo učinkovitiji pri prenošenju topline od izravnog zagrijavanja ili hlađenja cilindra, zadržan je diskontinuitet ekspanzije i kompresije, pa se na takav način mogu postići bolji učinci samo do određene granice. Svakako da tomu također pridonosi kruta veza između klipova kojim se diktiraju promjene stanja.

Prijavljena konstrukcija toplinskog hidrostroja s recirkulacijom sadrži rotacijski izmjenjivač topline s nizom neovisnih segmentnih cijevnih kolektora koji se prevode najprije preko izvora topline, zatim hladnog prostora, pa istovremeno služe i za ohlađivanje radnog fluida. Također uklonjena je kruta veza između klipova koji nisu više u značajnijem faznom pomaku, pa su promjene stanja u zadovoljavajućem izotermnom kontinuitetu trajućí istovremeno za sve vrijeme dovođenja odnosno odvođenja topline. Umjesto krute mehaničke veze u faznom pomaku uvodi se recirkulirajući nestlačiv medij kao sekundarni prijenosnik rada ili hidrodinamička prilagodljiva veza između radnih klipova te katalizator procesa između vrućeg i hladnog dijela stroja. Upravo radi toga nije nužan regenerator topline kao dodatni karakterističan sklop koji najprije prima, pa uz gubitke odaje toplinu. Umjesto njega tu ulogu preuzima recirkulirajući medij u obliku stacionarnog hidrodinamičkog strujanja koje ima osjetno manje gubitke.

### Umjetno srce na nuklearni pogon – Martini (1967.)

Umjetno srce je toplinski stroj na vrući plin na Papin-ovu principu. Umjesto klasičnog pogona koristi se nuklearna kapsula, a hlađenje se obavlja cirkulacijom krvi koja je upravljana membranskom cirkulacijskom crpkom. Također i ovaj mali specijalni toplinski stroj, namjenjen za održavanje života živih bića, u svojoj izvedbi ima regenerator topline od fine guste žičane mreže kao dodatni karakterističan sklop.

Toliko naglašen diskontinuitet između dovođenja ili odvođenja topline u odnosu na trajanje promjena stanja plina bilo ekspanzije ili kompresije, neizbježna je činjenična stvarnost i ove konstrukcijske izvedbe.

### Motor na vruću vodu – Ivo Kolin (1982.)

Originalnom konstrukcijskom izvedbom obilježen je put seriji niskotemperaturnih plosnatih toplinskih strojeva na Stirling-ovu principu. U njima se radni cilindar s klipom zamjenjuje komorom na vrući zrak i radnom membranom. Unutar komore je umjesto razvodnoga klipa toplinski izolirana ploča koja njihajući se u određenom položaju, kada je prislonjena na vruću stranu izmjenjivača, onemogućava dovod topline i zagrijavanje zraka, a omogućava hlađenje zraka preko pokretnog izmjenjivača s membranom na hladnoj strani komore. U drugom položaju, kada je ploča odmaknuta od vruće strane, a prislonjena na hladnu stranu komore uz radnu membranu koja preuzima ulogu klipa, omogućeno je intenzivno zagrijavanje radnog plina. Izvor topline može biti raznolika kontinuirana niskotemperaturna toplina zagrijane vode, zraka ili pak sunčevo zračenje, a prijenos topline na radni fluid je uvjetovan periodičnim položajem izolirane ploče, što procesu daje obilježje diskontinuiteta. Ostvaren rad se prenosi pomoću krutih polužnih mehanizama na osovinu stroja, a koristan rad je razlika rada ekspanzije i rada kompresije kao kod svih toplinskih strojeva na istom principu.

Važno je uočiti da i kod ove konstrukcije nema intenzivnog istovremenog dovođenja topline radnom plinu, iako je toplinski izvor aktivan i grije radnu ploču koja preuzima ulogu akumulatora topline dok traje kompresija, ili nema intenzivnog hlađenja radnog plina dok traje ekspanzija, iako je radna ploča hlađena (regenerator), pa se one istovremeno u potpunosti ne ispomažu, što procesu daje karakter diskontinuiteta. To je radi toga što sav isti radni plin naizmjenice sudjeluje trenutak u ekspanziji, trenutak u kompresiji. Promjene stanja odvijaju se u vremenskom faznom pomaku kao kod ostalih toplinskih strojeva, gdje postoji kruta pogonska veza. Budući da se sva dovedena toplina od primarnog i trajno aktivnog nepresušnog izvora odmah i u potpunosti ne prenosi kontinuirano na radni fluid koji ekspanzijom ostvaruje rad, nužan je akumulator topline. U ovom slučaju će to biti izmjenjivačka ploča koja će prihvatiti dio dovedene topline primarnoga izvora i uskladištiti ju za vrijeme prekida ekspanzije. Svakako da će i taj proces u stvarnosti pratiti manji učinak toplinskog stroja, što je karakteristika i ove konstrukcijske izvedbe koja sadrži akumulaciju topline, pa makar to bila i radna ploča. Tako se na račun ograničenog povećanja učinkovitosti uvođenjem regeneracije i akumulacije topline dodatno poskupljuje konstrukcija.

Radi toga je najbolje svu dovedenu toplinu bez odgode i akumulacije izravno prenijeti radnom plinu tijekom ekspanzije, a istovremeno hlađenjem radnog plina toplinu izravno, bez odgode i regeneracije odvesti tijekom kompresije. Savršenstvo konstrukcije toplinskog stroja je kada ekspanzija i kompresija nisu u faznom pomaku i traju istovremeno za

sve vrijeme primarnog dovođenja ili odvođenja topline. To nije moguće za isti radni fluid koji se odvaja ili premješta iz (jednog dijela) nepokretnog cilindra u drugi (dio) cilindar, pa se ovim patentom pribjegava promjenama stanja neovisnog radnog plina u neovisnim pokretnim cilindrima gdje je to moguće. Samo pod tim uvjetom moguće je u praksi ostvariti približno izotermne promjene stanja koje će se približiti zamišljenom idealnom ciklusu. Upravo prijavljena tipska konstrukcija toplinskog hidrostroja s recirkulacijom to nam omogućuje, jer nam najvećim dijelom ispunjava zahtjeve koji su naznačeni kao problem i tako najbolje rješava opći tehnički problem pretvorbe toplinske energije u mehanički rad.

### **Bit i tehnička novost izuma**

Tehnička novost izuma je nova tipska konstrukcija toplinskog stroja prilagođena odgovarajućem novom idealnom desnokretnom termodinamičkom ciklusu. Novi idealni termodinamički ciklus, osim što sadrži ključne izotermne promjene stanja ekspanzije i kompresije, koje su karakteristične za većinu ekvivalentnih idealnih radnih ciklusa pri pretvorbi topline u mehanički rad, sadrži još kombinaciju mješovitih promjena stanja izobare i izohore. Novi, pojednostavljen idealni termodinamički ciklus prikazan u p-v i T-s dijagramu (slike 1 i 2) kojega oponaša tipska konstrukcija sadrži sljedeće promjene stanja radnog plina:

- izobarne ekspanzije (2 - 3) pri dovođenju topline u vrućem prostoru
- izotermne ekspanzije (3 - 4) pri dovođenju topline u vrućem prostoru
- izohore (4 - 1) pri odvođenju topline u hladnom prostoru
- izotermne kompresije (1 - 2) pri odvođenju topline u hladnom prostoru

Ulaskom segmentnog cilindra s pripadajućim kolektorom u vrući prostor radnom plinu se izobarno dovodi topline (2 - 3). Pri tome dio topline se troši na povećanje unutarnje energije plina do temperature  $T_3$ , a dio za ostvarivanje rada pri izobarnoj ekspanziji (2 - 3) za pokretanje klipa i potiskivanje recirkulirajućeg medija. Kada se izjednači dovođenje topline s ostvarivanjem rada klipa bez povećanja unutarnje energije radnog plina, nastupa izotermna ekspanzija (3 - 4). Napuštanjem segmentnog cilindra s pripadajućim kolektorom zahvat vrućeg prostora (izvora topline) i ulaskom u hladni prostor, radi odvođenja topline smanjuje se unutarnja energija plina pri izohori (4 - 1) do temperature  $T_1$  bez ostvarivanja rada klipa. U trenutku kada se izjednači odvođenje topline radnom plinu s radom kompresije, dakle bez daljnjeg smanjenja unutarnje energije, nastupa izotermna kompresija (1 - 2) pri kojoj radni klip pod djelovanjem recirkulirajućeg medija zauzima početni položaj.

Time je jednostavniji oblik idealnog radnog ciklusa pri punom relativnom okretu segmentnog cilindra s pripadajućim kolektorom oko glavne osovine u potpunosti završen pri prolasku kroz zahvat vrućeg i hladnog prostora. Tako svaki sljedeći segmentni cilindar s kolektorom čini isti zaseban ciklus s malim međusobnim faznim vremenskim pomakom, upravo toliko koliko je potrebno da prijeđe zahvatni kut obodnog puta između dva susjedna segmenta. Pri tome veći broj, ili otprilike nešto manje od polovice u vrućem prostoru, ostvaruju skup neovisnih ekspanzija, a istovremeno preostali broj, ili otprilike nešto manje od polovice u hladnom prostoru, ostvaruju skup neovisnih kompresija u različitom stadiju opisanog ciklusa.

### **Snaga toplinskog hidrostroja P**

$$P = k \cdot \Delta T^3 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot \Delta T^3}{2 \cdot 10^8} = \frac{V \cdot \Delta T^3}{2 \cdot 10^8} [kW]$$

$\Delta T$  – temperaturna razlika vrućeg i hladnog dijela hidrostroja [ $^{\circ}K$ ]

$V_i$  – radni volumen segmentnog cilindra [l]

$V$  – Ukupni radni volumen hidrostroja ili svih segmentnih cilindara

$$V = \sum_{i=1}^n V_i [l]$$

Ukupni radni volumen toplinskog hidrostroja o kojem izravno zavisi snaga jednak je zbroju svih parcijalnih radnih volumena segmentnih cilindara u kojima se ostvaruje neovisan radni ciklus.

### **Termodinamička analiza (prema slikama 1 i 2)**

Jedinična dovedena topline  $q_d$

$$q_d = c_p \cdot \Delta T + \Delta s_{34} \cdot T_{\max} = c_p \cdot \Delta T + R \cdot \ln \frac{p_3}{p_4} \cdot T_{\max} \left[ \frac{J}{kg} \right]$$

$$P_3 = P_{\max}; P_4 \rightarrow P_1 = P_{\min}$$

Za izrazito spor ciklus postižu se pretežitio izotermne promjene stanja pri kraćim neizotermnim promjenama stanja, pa ciklus dobiva oblik izoternnog kontinuiteta.

5

$$q_d = c_p \cdot \Delta T + R \cdot \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \cdot T_{\max} \quad [J/kg]$$

Jedinična odvedena toplina  $q_0$

10

$$q_0 = c_v \cdot \Delta T + \Delta s_{12} \cdot T_{\min} = c_v \cdot \Delta T + R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1} \cdot T_{\min} \quad [J/kg]$$

$$P_2 = P_{\max}; P_1 = P_{\min}$$

$$q_0 = c_v \cdot \Delta T + R \cdot \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \cdot T_{\min} \quad [J/kg]$$

Jedinični koristan rad  $j_e$

15

$$j_e = q_d - q_0 = (c_p \cdot \Delta T + \Delta s_{34} \cdot T_{\max}) - (c_v \cdot \Delta T + \Delta s_{12} \cdot T_{\min}) \quad [J/kg]$$

Za naznačenu aproksimaciju izoternnog kontinuiteta

20

$$j_e = \Delta T \cdot (R + \Delta s) = \Delta T \cdot R \cdot \left( 1 + \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \right) \quad [J/kg]$$

$$\Delta s_{34} \approx \Delta s_{12}$$

Ukupan koristan rad toplinskog hidrostroja koji se preko klipova prenosi na recirkulirajući medij, radno kolo i osovinu jednak je sumi korisnih parcijalnih radova ostvarenih u neovisnim radnim ciklusima svih segmentnih cilindara.

25

Ukupan koristan rad približno je jednak razlici svih parcijalnih radova ekspanzije vrućeg i kompresije hladnog neovisnog radnog plina, a što je u biti skoro razlika između dovedene i odvedene topline rotacijskom izmjenjivaču topline.

Termodinamički stupanj korisnosti  $\eta_t$

30

$$\eta_t = 1 - \frac{q_0}{q_d} = 1 - \frac{R \cdot \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \cdot T_{\min} + c_v \cdot \Delta T}{R \cdot \ln \frac{P_{\max}}{P_4} \cdot T_{\max} + c_p \cdot \Delta T}$$

$$P_4 \rightarrow P_1 = P_{\min}$$

Ukupni stupanj korisnosti  $\eta_u$

35

$$\eta_u = \eta_t \cdot \eta_h$$

$\eta_h$  - hidraulički stupanj korisnosti

40

Na temelju idealnog radnog termodinamičkog ciklusa koji se odvija između naznačenih promjena stanja prikazanim u p-v i T-s dijagramu (slika 1 i 2) može se za ponuđeno tipsko rješenje toplinskog hidrostroja simulirati stvarni radni ciklus u neovisnom segmentnom cilindru, aproksimativnom upisanom crtkanom krivuljom «a» i «b».

45

Ovom tipskom konstrukcijskom izvedbom toplinskog hidrostroja s recirkulacijom, koja je novost u razvoju toplinskih strojeva, parcijalne ekspanzije radnog plina odvijaju se skoro istovremeno za sve vrijeme dovođenja topline, a parcijalne

kompresije radnog plina odvijaju skoro istovremeno za sve vrijeme odvođenja topline. U tomu je bit kvalitativnog poboljšanja procesa u kojem se neovisne parcijalne ekspanzije, odvijajući se istovremeno paralelno s kompresijama, preko recirkulirajućeg medija ispomažu ostvarujući kontinuiranu pretvorbu topline u mehanički rad. U njima istovremeno neizotermne promjene stanja pri dovođenju i odvođenju topline traju kraće nego izoterme pri kojima se u naj većem dijelu toplina na jednostavan način odmah samoregenerira u netoplinskom obliku bez dodatnih karakterističnih sklopova i većih gubitaka.

Ovim izumom uklanja se glavni nedostatak diskontinuiteta, jer se sav radni plin u pripadajućim segmentnim cilindrima istovremeno zagrijava ili alternativno hladi u zavisnosti nalazi li se pri relativnom kretanju u vrućem ili hladnom prostoru. Time je trajanje ekspanzije u pokretnim cilindrima skoro u potpunosti izjednačeno i usklađeno s dovođenjem topline, a istovremeno trajanje kompresije skoro u potpunosti izjednačeno i usklađeno s odvođenjem topline.

Budući da radni cilindri zajedno s radnim plinom izmjenjuju mjesta u vrućem i hladnom prostoru, moguće je varijacijom relativnog kretanja prilagoditi brzinu promjena stanja prema potrebi, tako da ekspanziju i kompresiju približimo teoretski najpovoljnijoj izotermnoj promjeni stanja. Tako se pretvorba toplinske energije u mehanički rad odvija na najjednostavniji prirodan način onim intenzitetom koji nam izvor topline pruža uz najveći učinak. Novo tipsko konstrukcijsko rješenje sastoji se u primjeni pokretnog rotacijskog izmjenjivača topline, praktično sastavljenog od niza neovisnih segmentnih parcijalnih kolektora koji završavaju sa radnim parcijalnim cilindrima i pripadajućim slobodnim klipovima. Rotacijski izmjenjivač topline ostvaruje prolazno rotacijsko relativno kretanje oko glavne osovine u odnosu na stacionarni izvor topline, odnosno alternativno hladni prostor. Tako se istovremeno postiže odgovarajuća selektivna promjena stanja stlačivog fluida (plina) u više neovisnih parcijalnih radnih cilindara jednog dijela stroja u vrućem prostoru, a istovremeno odgovarajuća na drugom dijelu toplinskog stroja u hladnom prostoru. U biti, uz dovoljan broj neovisnih segmentnih cilindara koji omogućuju spor proces, ostvaruje se optimalna usklađenost selektivnih promjena stanja koje postaju pretežito izotermne, oponašajući naznačen teoretski ciklus.

Jedan zatvoren radni ciklus u neovisnom segmentnom cilindru traje koliko puni okret relativnog kretanja oko glavnog vratila, što je od presudnog značaja za učinkovitost rada toplinskog hidrosroja. Budući da se promjene stanja radnog plina odvijaju neovisno, istovremeno i usklađeno, najveći dio dovedene topline izravno se pretvara u ekspanzijski rad, a najveći dio odvedene topline izravno smanjuje utrošak kompresijskog rada, prenoseći ga preko klipova na nestlačivi recirkulirajući medij u obliku hidrodinamičkog strujanja. Istovremeno se najveći dio topline pri kraćim neizotermnim promjenama stanja samoregenerira u netoplinski oblik hidrodinamičke recirkulacije. Kompresijski rad u teoretskom smislu čak može imati suprotan predznak ukoliko se početkom kompresije ostvari podtlak radnog fluida, kao što je to bio slučaj kod rudarske crpke. Ukupan koristan rad tada bi bio izuzetno povoljan, jer bi u biti ekspanzija bila potpomognuta radom kompresije, pa ova tipska konstrukcija daje neslućene mogućnosti u razvoju i usavršavanju toplinskih strojeva. Pri ostvarivanju podtlaka mogla bi se očekivati poznata štetna pojava kavitacije pri strujanju recirkulirajućeg medija koju svakako treba izbjeći izborom bezvrtložnog stacionarnog strujanja, pa bi rad s potlakom otvarao nove teškoće.

Ovim izumom broj karakterističnih sklopova koji sudjeluju u toplinskom procesu sveden je svega na dva, što je danas u biti najmanji mogući broj, pa time tipska konstrukcija postaje najjednostavnije konstrukcijsko rješenje.

Prvi je relativno okretni karakterističan sklop I, kojeg čini cilindrični izmjenjivač topline sastavljen od niza neovisnih segmentnih kolektora koji se nastavljaju na uparene cilindre s klipovima, te usmjerne, povratne i izuzimajuće kanale. Nema posebno vrućeg ili posebno hladnog izmjenjivača, jer su u potpunosti isti, već njihovu zamjensku radnu funkciju određuje položaj u odnosu na izvor topline ili hladni prostor. Nema klasičnog razvodnika radnog plina, već tu ulogu preuzima samopogonjeni mehanički (varijabilni) prijenosnik sklopa III relativnog okretanja između dva karakteristična sklopa, relativno okretnog sklopa I i radno okretnog sklopa II. Nema akumulatora ili po funkciji regeneratora topline iako izmjenjivački sklop podsjeća na njih, jer se toplina izvora bez odgode izravno pretvara u hidrodinamičko strujanje i pokretanje radnog kola. Ipak, dio hidrodinamičke energije bezvrtložnog jalovog strujanja u biti je akumulacija već pretvorene toplinske energije, pa stoga nisu nužni klasični regeneratori ili akumulatori topline, koja bez značajnih gubitaka s malom odgodom završava preko radnog kola kao koristan mehanički rad na osovini hidrostroja.

Drugi radno okretni karakterističan sklop II je klasično turbinsko radno kolo s zakrivljenim lopatičnim kanalima za pretvorbu hidrodinamičke energije strujanja u mehanički rad prema danas poznatom principu. Mehanički (varijabilni) prijenosnik zamjenjuje ulogu klasičnog razvodnika radnog plina pomoću kojeg se ostvaruje relativno kretanje neovisnog sadržaja radnog plina i uvodi ga u određenu fazu ciklusa. Integralni je dio konstrukcije toplinskog stroja kojim se mehanički sprežu dva karakteristična sklopa, ali u biti nije karakterističan sklop, već ima ulogu surađujućeg člana. Važan je, jer se njime izravno mijenja brzina ciklusa, a time neizravno utječe na kvalitetu termodinamičkog procesa pretvorbe.

Novost je uvođenje recirkulirajućeg nestlačivog medija između ekspanzije i kompresije kao prilagodljivog hidrodinamičkog prijenosnika rada i katalizatora pretvorbe ukupnog rada toplinskog stroja koji zamjenjuje krutu vezu.

Uvođenjem recirkulirajućeg medija između klipova segmentnih cilindara vrućeg i hladnog bloka toplinskog stroja ostvaruje se kontinuirana hidrodinamička veza između niza istovremenih ekspanzija i kompresija, pri čemu se utrošak kompresijskog rada svodi na najmanju mjeru. Tako recirkulirajući medij prihvaća sav ekspanzijski rad radnog plina koji sudjeluje u određenoj fazi procesa i predaje ga radnom kolu. S druge pak strane, smanjen je utrošak kompresijskog rada, jer se tlak kompresije snižava do razine koja istovremeno pospješuje hidrodinamičku energiju strujanja. Kako bi se ostvario kontinuitet strujanja recirkulirajućeg medija bez gubitaka uslijed vrtloženja ( $d\varphi=0$ ), potrebno je uvjetno jalovo cirkulacijsko strujanje povratnim usmjernim kanalima, ponovo prema radnom kolu. Jalovim strujanjem osigurava se kontinuitet hidrodinamike strujanja, a djelomice i akumulacija netoplinke energije u hidrostroju bez vrtloženja. Inače, da je strujanje vrtložno, znatno bi se umanjila učinkovitost pretvorbe, a time i koristan rad. Jalovo strujanje je u biti posljedica ejektorskog djelovanja glavnog strujanja na ulasku u radno kolo i niskotlačnog usisnog učinka kompresijskih cilindara na izlazu iz radnog kola.

Uvođenjem recirkulirajućeg medija hidrodinamička energija strujanja, uz dvojaku ulogu izmjenjivačkog sklopa, potpuno zamjenjuje toplinsku akumulaciju i regeneraciju topline uklanjajući diskontinuitet procesa pretvorbe, pa dodatni karakteristični sklopovi kao što su akumulatori i regeneratori topline nisu potrebni. Osim što je recirkulirajući nestlačivi medij kontinuirani prijenosnik rada bez uvođenja dodatnih karakterističnih sklopova, novost je da ima ulogu katalizatora ukupnog procesa pretvorbe, jer na najbolji mogući način kompenzira nejednolikosti intenziteta promjenjivih termodinamičkih parametara parcijalnih promjena stanja. Tako se toplina pretvara u hidrodinamičku energiju strujanja onim intenzitetom kako pristiže s najvećom temperaturnom razlikom radnog plina u radnom ciklusu koja se približava temperaturnoj razlici izvora topline i hladnog prostora.

Ovom konstrukcijskom izvedbom trajanje ili brzina ekspanzije u svakom cilindru može se optimalizirati do te mjere da radni fluid dostiže gotovo temperaturu zagrijanog prostora i predaje rad za sve vrijeme prolaza kroz vrući prostor. Ukupan dobiven rad ekspanzije u biti je zbroj svih parcijalnih radova u neovisnim segmentnim cilindrima u vrućem prostoru. Također analogno trajanje ili brzina promjene stanja kompresije može se optimalizirati do te mjere da radni fluid dostiže skoro temperaturu okoline.

### **Opis nacrt**

Konstrukcija toplinskog hidrostroja s recirkulacijom na vrući plin (slika 3,4 i 5) sastoji se od :

Sklopa I – Relativno okretnog karakterističnog sklopa;

Rotacijskog izmjenjivača topline sastavljenog od niza segmentnih kolektora(1),

Radnih segmentnih cilindara sa slobodnim klipovima (2), ili alternativno

Radnih segmentnih komora s elastičnom membranom (2'),

Usmjernih kanala (3),

Povratnih kanala za recirkulaciju (4),

Povratnih kanala za izuzimanje recirkulirajućeg medija (5),

Pokretnih lopatica (6), ili alternativno

Aksijalno pokretnih zatvarača (6'),

Ozubljenja (7),

Sklopa II – Radno okretnog karakterističnog sklopa;

Radnog lopatičnog kola- turbine (8).

Radne osovine (9),

Pogonskog prijenosnika relativnog kretanja (10),

Sklopa III – Mehaničkog međuprijenosnika;

Pogonjenog para međuprijenosnika (11),

Obuhvatnog nosača (12),

Kućišta ili postolja (13)

Generatora (14)

Opis elemenata sklopa I:

(1) Rotacijski izmjenjivač topline sastavljen je od niza neovisnih segmentnih cijevnih kolektora koji su složeni u jednu cjelinu u obliku plašta valjka. Svaki taj segmentni kolektor zaseban je manji parcijalan izmjenjivač topline koji može imati dvojaku ulogu prijemnika ili predajnika topline u zavisnosti od relativnog položaja u odnosu na izvor topline ili hladni prostor. Segmentni kolektori, ispunjeni stlačivim fluidom (plinom), prilagođeni su izvoru topline, u pravilu s velikom (ili što većom) mogućnošću prihvata ili odavanja topline u jedinici vremena. U najprostijem slučaju to je cijevni izmjenjivač čija je veličina, oblik i geometrija u prostoru prilagođena vrsti i intenzitetu izvora topline.

(2) Radni segmentni cilindri sa slobodnim klipovima nastavljaju se na segmentne kolektore. U njima se produžuju parcijalne promjene stanja radnog stlačivog medija (plina) započete u segmentnim kolektorima prenoseći rad preko slobodnih klipova u cilindrima na recirkulirajući nestlačiv medij s druge strane klipova, potiskujući ga usmjernim koncentrirajućim kanalima prema radnom turbinskom lopatičnom kolu. Slobodni klipovi onemogućavaju miješanje

radnog stlačivog (plina) i recirkulirajućeg nestlačivog fluida, ostvarujući hidrodinamičku vezu između niza parcijalnih promjena stanja. Radni cilindri mogu biti toplinski izolirani kada se razmjena topline odvija isključivo preko izmjenjivača topline;

5 (2') Radne komore s elastičnom membranom alternativna su umjesto radnih segmentnih cilindara s istom funkcionalnom ulogom.

(3) Usmjerni kanali čine skup polukružnih zakrivljenih koncentrirajućih kanala koji recirkulirajući medij usmjeravaju s oboda od cilindra u vrućem dijelu prema osi radnog lopatičnog kola, pretvarajući potisni ekspanzijski rad u sve veću hidrodinamičku energiju strujanja. Usmjeravanje recirkulirajućeg medija odvija se identično i u hladnom dijelu hidrostroja kao radno i jalovo strujanje nužno radi kontinuiteta strujanja. Usmjerni kanali također su dio cjeline relativno okretnog sklopa I koji je u sporijem relativnom kretanju suprotno od smjera okretanja radno okretnog sklopa II.

15 (4) Povratne kanale za recirkulaciju čini skup proširujućih zakrivljenih kanala na izlazu iz lopatičnog radnog kola, nužnih za potrebu recirkulacije hidrodinamičkog strujanja preko kojih se ostvaruje kontinuitet strujanja ponovo prema radnom kolu. Spajaju se sa usmjernim kanalima na obodu ostvarujući neprekidan tijek strujanja bez vrtloženja.

20 (5) Povratni kanali za izuzimanje čine skup proširujućih zakrivljenih kanala na izlazu iz lopatičnog radnog kola za potrebe izuzimanja recirkulacijskog medija i kompresijsko popunjavanje oslobođenog prostora u cilindrima hladnog dijela hidrostroja. Kako bi se izuzimanje odvijalo nesmetano samo u hladnom dijelu hidrostroja lučno pokretnim lopaticama, uslijed podtlaka, kanali se otvaraju, dok se istovremeno u vrućem dijelu predtlakom na lopatice, izuzimajući kanali drže zatvoreni.

25 (6) Pokretne lopatice za zatvaranje i otvaranje povratnih zakrivljenih izuzimajućih kanala smještene su po obimu ulaza povratnih izuzimajućih kanala, pojedinačno i lučno mijenjajući položaj otvoreno- zatvoreno uvjetovan podtlakom ili predtlakom recirkulirajućeg medija, već prema zahtjevima procesa. One omogućuju tijek strujanja u hladnom dijelu ili onemogućuju tijek strujanja u vrućem dijelu hidrostroja također bez vrtloženja recirkulirajućeg medija.

30 (6') Aksijalno pokretni zatvarači za alternativno zatvaranje i otvaranje povratnih zakrivljenih izuzimajućih kanala umjesto pokretnih lopatica, smještenih po obimu izlaza povratnih izuzimajućih kanala, a kruto povezanih na slobodne klipove (ili alternativno elastične membrane ) s istom radnom funkcijom.

35 (7) Ozubljenje je ugrađeno na kućište sklopa I, a služi za ostvarivanje pogonske sprege sa sklopom II za pogon relativnog kretanja sklopa I pri prevođenju rotacijskog izmjenjivača topline preko vrućeg i hladnog prostora.

Opis elemenata sklopa II:

40 (8) Radno lopatično kolo (turbina) je klasičan element hidrostroja u kojem se hidro- energija strujanja pretvara u mehanički rad i prenosi na radnu osovinu. Sastoji se od niza zakrivljenih lopatičnih kanala u obliku turbine prema danas poznatim tehničkim rješenjima. Svakako da konstrukciju lopatičnog kola treba prilagoditi prema specifičnim uvjetima bezvrtložnog strujanja uz minimalne hidraulične gubitke. Smjer okretanja rada lopatičnog kola određuje položaj zakrivljenosti lopatica, a suprotan je od relativnog kretanja sklopa I. Radno lopatično kolo kruto je učvršćeno na radnu osovinu hidrostroja.

45 (9) Radna osovina prenosi koristan mehanički rad od radnog kola prema korisniku. Slobodno je uležištena u odnosu na kućište potrošača koje je povezano s postoljem na kojem je oslonjena cijela konstrukcija hidrostroja. Na radnoj osovini je kruto učvršćen pogonski prijenosnik relativnog kretanja.

50 (10) Pogonski prijenosnik relativnog kretanja je dio klasičnog mehaničkog prijenosnika odgovarajućeg prijenosnog odnosa, kojim se omogućuje sporije relativno kretanje relativno okretnog karakterističnog sklopa I u odnosu na radno okretni karakteristični sklop II. Relativno kretanje je potrebno da bi se izmjenjivačke segmentne jedinice naizmjenice prevodile preko izvora topline odnosno hladnog prostora ponavljajući ciklus.

Opis elemenata sklopa III:

55 (11) Pogonjenog para međuprijenosnika koji se slobodno okreće u ležištu svoje ekscentrično i paralelno postavljene osovine u odnosu na glavnu osovinu, a koja je još preko uležištenog nosača povezana na radnu osovinu i kruto spojena na postolje ili kućište stroja. To može biti običan cilindrični zupčanik koji se spreže sa cilindričnim zupčastim ozubljenjem na sklopu I i pogonskim zupčanikom sklopa II.

60 (12) Obuhvatni nosač s kućištem je kruta uležištena poluga na radnoj i ekscentričnoj osovini koja na ekscentričnoj udaljenosti zadržava pogonjeni međuprijenosnik, a povezana je s kućištem ili postoljem.

(13) Kućište stroja je čvrsto povezano na nepokretno postolje, što je glavno uporište za pogon radnog i relativnog kretanja. Kućište može poslužiti kao nepokretan elemenat za učvršćenje statora pri proizvodnji električne energije.

(14) Generator služi za alternativnu pretvorbu okretne mehaničke energije s osovine hidrostroja u električnu energiju za univerzalnu uporabu.

### Način ostvarivanja izuma

Tipska konstrukcija toplinskog hidrostroja s recirkulacijom na vrući plin (slika 3,4 i 5), za rješavanje tehničkog problema pretvorbe toplinske energije u koristan mehanički rad, sastoji se u primjeni pokretnog rotacijskog cijevnog izmjenjivača topline koji je sastavljen od niza potpuno istih neovisnih segmentnih kolektora (1), složenih u obliku plašta valjka. Svaki segmentni kolektor (1) završava s uparenim neovisnim segmentnim cilindrom (2), ili alternativno segmentnom radnom komorom (2') u kojoj je radni plin u zatvorenom sustavu. U cilindrima su slobodno smješteni aksijalno pokretni radni klipovi ili alternativno u radnim komorama elastične membrane (2'). Dovođenje topline predviđeno je s vanjske strane jednog dijela rotacijskog izmjenjivača topline, istovremeno na više segmentnih kolektora (1) koji prolaze preko izvora topline. Odvođenje topline odvija se istovremeno također s vanjske strane drugog dijela izmjenjivača topline preostalog dijela segmentnih kolektora (1). Tako se istovremeno u vrućem prostoru odvija niz neovisnih ekspanzija u svakom od susjednih segmentnih cilindara (2) ili alternativno radnih segmentnih komora koje se međusobno ipak nalaze u malom faznom vremenskom pomaku. Analogno u hlađenom prostoru odvija se istovremeno niz neovisnih susjednih kompresija radnog plina kojemu je stanje određeno položajem, a također su međusobno u malom faznom pomaku. Parcijalne ekspanzije i kompresije cjelokupnog sadržaja neovisnog radnog plina svakog segmentnog cilindra (2) kontinuirano se izmjenjuju pri prolasku kroz vrući odnosno hlađeni prostor, ostvarujući pri punom relativnom okretu naznačeni radni ciklus prikazan u p-v i T-s dijagramu (slika 1 i 2).

Ovom tipskom konstrukcijskom izvedbom moguće je izabrati optimalnu brzinu termodinamičkog procesa pretvorbe, gdje će se u stvarnosti ključne promjene stanja približiti termodinamički najpovoljnijem izotermnom ciklusu, a pri kraćim neizotermnim promjenama stanja najbolje regenerirati toplinu. Tomu danas teže sve modernije konstrukcije toplinskih strojeva. Također predložena varijanta konstrukcije omogućuje nam izbor najpovoljnije veličine, oblika i geometrije kolektora usklađenim prema specifičnim zahtjevima vrsta izvora topline ili hlađenog prostora. U biti ti zahtjevi se u potpunosti sretno podudaraju, pa isti izmjenjivač zamjenski veoma dobro obavlja obje funkcije. Posebno prikladan i učinkovit za prihvrat ili odavanje topline je jednostavan cijevni izmjenjivač koji je davno predložio Meijer (1958), a zadržao se sve do danas, pa se tako predlaže i kod ove tipske konstrukcije. Ovom tipskom konstrukcijom postoji mogućnost biranja najpovoljnijeg volumenskog odnosa između ukupno vrućeg i ukupno hlađenog volumena radnog plina. Izmijenjen odnos volumena moguće je postići blagim smanjenjem zahvatnog kuta izvora topline prema kolektorskom izmjenjivaču ili analogno povećanjem zahvatnog kuta pothlađenog prostora. Preveliko mijenjanje odnosa radnog volumena u vrućem i hlađenom prostoru nije preporučljivo, jer bi remetilo hidrodinamičko strujanje bez vrtloženja, pa će to biti predmet optimalizacije i usavršavanja toplinskog hidrostroja. Također moguće je izabrati optimalan kompresijski omjer radnog plina u neovisnom segmentnom cilindru s pripadajućim kolektorom.

Ekspanzijski rad radnog stlačivog fluida radnih cilindara u vrućem prostoru prenosi se na slobodne radne klipove u cilindrima (alternativno elastične membrane), koje u obliku radnog aktivnog hidrodinamičkog strujanja potiskuju recirkulirajući nestlačiv medij usmjernim, polukružno zakrivljenim koncentrirajućim kanalima (3) sa oboda prema centru lopatičnog turbinskog radnog kola (8), ostvarujući okretni mehanički rad na osovini (9). Uz aktivno radno hidrodinamičko strujanje djelomice se ostvaruje i povratno recirkulirajuće strujanje preko povratnih sužavajućih zakrivljenih recirkulacijskih kanala (4), koji su postavljeni od izlaza radnog kola (8) prema obodu, završavajući ponovo na usmjernim kanalima (3). Recirkulirajuće strujanje nužno je radi kontinuiteta strujanja i akumulacije energije strujanja koja nije odmah u potpunosti pretvorena u mehanički rad. Na hlađenoj strani toplinskog hidrostroja ostvaruje se pasivno (jalovo) hidrodinamičko recirkulacijsko strujanje, potpomognuto s jedne strane usisnim (ejektorskim) učinkom radnog aktivnog strujanja na ulazu u radno kolo (8), a s druge strane, potpomognuto usisnim djelovanjem kompresijskog rada kompresijskih cilindara (2) preko povratnih proširujućih zakrivljenih izuzimajućih kanala (5). Povratni izuzimajućih kanali (5) započinju od izlaza radnog kola (8), a nastavljaju se prema radnim cilindrima (2) završavajući spajanjem na njih. U vrućem prostoru su zatvoreni pokretnim lopaticama (6) ili alternativno aksijalno pokretnim zatvaračima (6') dok se u hlađenom prostoru potpuno otvaraju, omogućujući tijek izuzimajuće struje.

Rad toplinskog hidrostroja moguć je i bez radnih klipova (alternativno bez elastičnih membrana u komorama). Tada je radni fluid istovremeno i recirkulirajući medij s dvije faze. Parna faza kao stlačiva primarna komponenta i tekuća faza (kapljevina) kao nestlačiva sekundarna recirkulacijska komponenta. Svakako da tada radni tlakovi fluida moraju biti usklađeni prema tehničkim karakteristikama. Tada bi se parna faza ostvarivala u vrućem dijelu kolektora ili isparivaču, a alternativno hlađeni dio kolektora poslužio bi kao kondenzator. Kad je radni fluid smjesa tekućine i pare, tada se proces odvija u mokrom (zasićenom) području s promjenom agregatnog stanja. U mokrom području temperatura zasićenja pare ovisi o tlaku, pa su izotermne promjene stanja ujedno i izobare. Na maksimalnoj temperaturi odvija se isparavanje, a na minimalnoj kondenzacija.



Kako bi omogućili automatsko prevođenje izmjenjivača topline (1) preko izvora topline ili hladnog prostora između dva karakteristična sklopa, relativno okretnog sklopa I i radno okretnog sklopa II, predviđen je mehanički međuprijenosnik za ostvarivanje pomoćnog relativnog okretanja u suprotnom smjeru. Mehanički je prijenosnik raspoređen na sva tri sklopa, a sastoji se od umetnutog ozubljenja (7) na kućištu cilindra (2), slobodno pogonjenog para međuzupčanika (11) i pogonskog zupčanika (10) kruto vezanog na radnu osovinu (9) za ostvarivanje pogonske sprege.

Prilikom odabiranja veličine toplinskog hidrostroja treba po mogućnosti težiti izradi što većih konstrukcija. Svaki veći toplinski stroj za isti tip konstrukcije daje bolji stupanj korisnosti pretvorbe toplinske energije u mehanički rad. Veličina toplinskog hidrostroja kod ovog tipa konstrukcije igra posebnu važnost, jer brzina relativnog kretanja rotacijskog izmjenjivača (1) sa segmentnim cilindrima (2) mora biti relativno mala (spora) radi ostvarivanja pretežito izotermnog ciklusa. To će biti lakše ostvariti s većim brojem segmentnih cilindara (2) na većoj konstrukciji nego li na manjoj, jer i veličina segmentnih cilindara (2) mora imati optimalnu konstrukcijsku veličinu. Osim toga kod veće konstrukcije lakše i bolje će se rješavati hidrodinamičko strujanje recirkulirajućeg nestlačivog medija bez vrtloženja ( $d\phi=0$ ). Strujanje bez vrtloženja nužan je i veoma ozbiljan zahtjev svih klasičnih hidrostrojeva koji je u biti danas veoma dobro riješen, ali ovaj tip hidrostroja još ima dodatnih zahtjeva radi specifičnosti tipske konstrukcije. Radi toga pri rješavanju ovog problema mora se posvetiti posebna pažnja već kod izrade eksperimentalnog modela. Veličina toplinskog hidrostroja zavisiće od snage koju želimo postići. Budući da snaga zavisi proporcijalno od volumena radnih cilindara (2) koji sudjeluju u radnom ciklusu i kuba temperaturne razlike radnog fluida u vrućem i hladnom prostoru proizlaze logični zaključci:

- za veće snage potrebno je graditi konstrukcijski veće toplinske hidrostrojeve većih radnih volumena s većim brojem segmentnih cilindara (2),
- za što veću snagu temperaturna razlika radnog fluida između vrućeg i hladnog dijela toplinskog hidrostroja mora biti što veća.

Veći radni volumeni toplinskog hidrostroja posebice su važni za iskorištavanje niskotemperaturnih izvora topline, gdje su ograničene temperaturne razlike između izvora topline i hladnog prostora. Svakako treba nastojati da temperaturna razlika bude što veća, ali često puta zbog tehnoloških ograničenja nismo u mogućnosti ići s veoma visokim temperaturnim razlikama, pa pri izboru veličine hidrostroja treba naći optimum prema zadanim uvjetima. Povećavanjem kompresionog odnosa radnog tlaka stlačivog fluida toplinskog hidrostroja neće se povećavati snaga, ali se može poboljšati proces pretvorbe. Većim radnim tlakom povećava se gustoća, odnosno masa radnog fluida, a time i njegova specifična toplota, pa je njegova sposobnost prihvatanja ili odavanja topline veća. Tako će toplinski hidrostroj iste veličine biti još učinkovitiji pri većim omjerima radnih tlakova i većim kompresionim odnosima, jer će bolje iskorištavati izvor topline i ostvarivati željenu temperaturnu razliku prema hladnom prostoru. S tim je u izravnoj vezi optimalizacija brzine relativnog kretanja koja se može postići dopunskim mjenjačem brzine (varijatorom) i tako optimalizirati promjene stanja radnog ciklusa.

**R a d n i f l u i d** – Radni stlačiv fluid mora imati visoku mogućnost prihvatanja topline. Najčešće je to plin sa što većom specifičnom toplotom, ali mora se voditi računa i o drugim tehnološkim zahtjevima. Tako, na primjer, vodik ima nekoliko puta veću specifičnu toplotu od zraka, ali je nepraktičan radi zapaljivosti, pa se radije preporučuje neutralan helij s lošijom specifičnom toplotom od vodika, ali boljom od zraka. U krajnjem slučaju radni fluid može biti i tekućina (kapljevina) visokih mogućnosti stlačivosti i velike specifične topline. Obična voda ili hidraulično ulje ima veoma dobra toplinska svojstva, ali zbog male toplinske rastezljivosti potrebni su izuzetno visoki tlakovi što nije praktično jer konstrukcija mora biti radi izdržljivosti robusna. Prednost bi bila ta što bi tada jednofazni radni fluid preuzeo ulogu i recirkulirajućeg medija, pa ne bi bili potrebni radni klipovi, što bi značilo još veće pojednostavljenje konstrukcije.

**R e c i r k u l i r a j u ć i m e d i j** – Prijenosnik rada je recirkulirajući nestlačivi medij koji hidrodinamičkim strujanjem ostvaruje sekundarnu zadaću mehaničkog prijenosnika rada između promjena stanja stlačivog radnog fluida i radnog kola (8). Osim toga recirkulirajući nestlačiv medij obavlja bitnu zadaću katalizatora ukupnog procesa pretvorbe topline u mehanički rad, pa je ovaj stroj utoliko hidrodinamički složeniji od klasičnih hidrostrojeva. Današnji hidrostrojevi imaju visok hidraulični stupanj korisnosti, pa se očekuje da bi i ova konstrukcija uz zadovoljenje specifičnih zahtjeva razvojem u budućnosti također dosegla zadovoljavajuću razinu. Tako ona ne bi praktično značajnije umanjila učinkovitost ukupnog stvarnog procesa pretvorbe toplinske energije u mehanički rad, koja je za ovaj tip konstrukcije toplinskog hidrostroja u teoretskom pogledu izuzetno povoljna.

Specijalna varijanta konstrukcijske izvedbe toplinskog hidrostroja bila bi kada bi radni stlačiv fluid (plin) i recirkulirajući nestlačiv medij (tekućina ili kapljevina) bio isti dvokomponentni fluid s parnom i tekućom fazom. To bi bila smjesa tekućine i pare, pa bi se termodinamički proces odvijao u vlažnom zasićenom području s promjenom agregatnog stanja. U vlažnom području temperatura zasićenja pare ovisila bi o tlaku, pa bi izotermne promjene stanja bile izjednačene sa izobarama. Parna faza preuzela bi ulogu radnog stlačivog fluida, a tekuća sekundarnu ulogu recirkulirajućeg medija. Tako bi hidrostroj na vruću smjesu postao još jednostavnije izvedbe, jer nestaju radni cilindri s klipovima (2), a njihovu funkciju preuzeo bi u potpunosti rotacijski izmjenjivač topline (1) koji bi u vrućem prostoru

radio kao isparivač, a istovremeno u hladnom prostoru kao kondenzator. Svakako bi se pri korištenju smjese morali uskladiti radni tlakovi i radne temperature prema tehničkim karakteristikama tako da se parna faza stvara u vrućem dijelu izmjenjivača- isparivaču, a alternativno kondenzat u hladnom dijelu izmjenjivača- kondenzatoru. Položaj hidrostroja na vruću smjesu morao bi biti takav da je izmjenjivački sklop s parnom fazom u uvjetima gravitacije uvijek okrenut prema gore, a hidropogon s tekućom fazom isključivo prema dolje. No, u uvjetima beztežinskog stanja, npr. u svemiru, ovaj uvjet ne mora biti zadovoljen.

Usklađenim mehaničkim zatvaranjem izuzimajućih povratnih kanala (5) u vrućem prostoru i otvaranjem izuzimajućih povratnih kanala (5) u hladnom prostoru moguće je prema potrebi spriječiti ili alternativno omogućiti bezvrtložno strujanje recirkulirajućeg medija prema segmentnim cilindrima (2). Najjednostavnija mogućnost je usklađeno zatvaranje izuzimajućih povratnih kanala (5) u vrućem prostoru ili otvaranje u hladnom prostoru pomoću lučno pokretnih lopatica (6) uslijed predtlaka ili podtlaka recirkulirajućeg medija. Pokretne lopatice (6) mogu biti učvršćene na kućištu samog ulaza izuzimajućeg povratnog kanala (5) ili se alternativno mogu konstruirati kao neovisno regulacijsko usmjereno kolo, što je predmet daljnjeg usavršavanja stroja. Kao manje savršena mogućnost zatvaranja izuzimajućih povratnih kanala (5) je pomoću aksijalno pokretnih zatvarača (6') čvrsto povezanih na pokretne radne klipove, koji bi postepeno pri radu ekspanzije zatvarali izlaze, a pri kompresiji bi ih otvarali.

Toplinski hidrostroj mogao bi raditi bez ograničenja kad bi izvor topline i hladni prostor zamjenili uloge. Ako bi se položaj izvora topline u odnosu na rotacijski izmjenjivač topline (1) promijenio bilo za koji zahvatni kut, to svakako mora pratiti promjenu u hladnom prostoru na drugoj strani izmjenjivača (1). Iz toga slijedi da izvor topline može biti pokretan i satelitski kružno pratiti izmjenjivač topline (1) koji tada više ne mora biti pokretan. Budući da je u tom slučaju izmjenjivač topline (1) nepokretan, otpada mehanički prijenosnik, pa se konstrukcija toplinskog hidrostroja pojednostavljuje. Tako se problem relativnog kretanja prebacuje na izvor topline koji mora preuzeti neovisnu pokretnu ulogu, a što se može riješiti na više načina kao npr. pokretnim gorionicima, stabilnim gorionicima koji bi se naizmjenice aktivirali po opsegu izmjenjivača, usmjeravanjem strujanja vrućeg zraka ili dimnih plinova, razvodnicima pare i sl.. Problem relativnog kretanja hidrostroja moguće je alternativno riješiti reaktivnim strujanjem recirkulirajućeg medija kroz odgovarajuće dodatno prilagođene zakrivljene usmjerne i izuzimajuće kanale na sklopu 1, također bez mehaničkog prijenosnika, što je opet predmet daljnjeg usavršavanja.

Zbog naizmjeničnog premještanja izmjenjivačkog sklopa (1) iz vrućeg u hladni prostor, očekuje se pojava karakterističnih toplinskih naprezanja, čiji će intenzitet zavisiti od temperaturne razlike vrućeg i hladnog dijela. Ovaj nedostatak bi mogao utjecati na vijek trajanja izmjenjivačkog sklopa (1), koji bi morao biti lako zamjenjiv. Izgradnjom velikih blokovskih jedinica sa sporohodnim relativnim kretanjem i nižom temperaturnom razlikom ovaj nedostatak ne bi bio toliko izražen.

### **Način primjene izuma**

Najbolji poznati način za privrednu uporabu ovog izuma navest će se kroz nekoliko mogućnosti. Činjenica je da se toplinski hidrostroj na vrući plin može univerzalno primijeniti za iskorištavanje obnovljivih i neobnovljivih izvora topline svih temperaturnih razlika, od malog do velikog intenziteta, koji su nam raspoloživi u prirodi. Može se primijeniti kod visokih odnosa tlakova radnog plina i većeg kompresijskog omjera koliko nam to dopuštaju tehnološke mogućnosti, jer radi u zatvorenom sustavu. Može se izraditi male veličine, ali još bolje većih dimenzija sve do praga ekonomičnosti. Budući da se toplina dovodi s vanjske strane izmjenjivača, može se lako prilagoditi svakom izvoru topline.

Dobiveni mehanički rad na osovini toplinskog hidrostroja može se izravno ili neizravno koristiti za univerzalan pogon strojeva različitih namjena kao npr. generatora za proizvodnju električne energije, crpki, cestovnih ili šinskih vozila, različitih vrsta dizala i dizalica, brodova, podmornica, pogonskih i regulacijskih uređaja i dr..

### **Sunčeva energija**

Ako bi se iskorištavala obnovljiva energija Sunca, tada bi toplinski hidrostroj naručito bio pogodan za prihvatanje energije zračenja pomoću segmentnih sunčevih kolektora, posebno prilagođenih tom izvoru topline. Jedan dio sunčevih kolektora bio bi alternativno vruć, a drugi alternativno hladan, pa bi prolaznim rotacijskim kretanjem oko glavne osovine u odnosu na izvor zračenja postupno izmjenjivali mjesta, a time i uloge. Kako bi se kolektor zadržao u položaju prema Suncu, potreban je barem jednostavan mehanizam za sezonsko podešavanje nagiba prema Suncu. Radi univerzalnosti toplinskog hidrostroja, mehanizam za dnevno praćenje Sunca ne bi bio nužan jer bi hidrostroj bio u punoj funkciji i kod samo sezonskog nagiba. To bi mu omogućila univerzalna zamjenjivost položaja izvora topline i hladnog prostora oko kolektora, bez utjecaja na rad stroja. Ukoliko bi se željela povećati još više temperaturna razlika izvora i hladnog prostora (intenzitet energije), trebao bi se ugraditi koncentrador sunčevog zračenja. U tom slučaju nužan bi bio mehanizam za dnevno praćenje Sunca za usmjeravanje koncentratora zračenja. Također analogno dogradnjom uređaja za intenzivnije hlađenje na suprotnoj strani pri odvođenju topline povećao bi se intenzitet energije i učinak stroja, što bi svakako dodatno kompliciralo konstrukciju, pa je stvar procjene što bi bilo racionalno.

## Korištenje u svemiru

Toplinski hidrostruj na vrući plin u zatvorenom sustavu pod tlakom bio bi pogodan za korištenje u svemiru za potrebe pogona pomoćnih uređaja ili proizvodnju električne energije. Zbog intenzivnog sunčevog zračenja u svemiru i većih temperaturnih razlika sunčeve strane u odnosu na sjenu, očekuje se dobro iskorištenje. Svakako da bi se tada kolektor morao prilagoditi samo prihvatu topline ostvarene zračenjem i samo odvodu topline isijavanjem, jer u svemiru nema prijenosa topline konvekcijom. Posebice bi se mogla dobro iskoristiti univerzalna samozamjenjivost izvora topline i hlađenog prostora u odnosu na okretni položaj izmjenjivača topline bez štetnog utjecaja na funkciju stroja.

## Toplinska energija obnovljivih izvora okoline (mora, zraka, rijeka, jezera ili geotermalnih izvora)

More je neiscrpan toplinski izvor, ali zbog male temperaturne razlike između mora i okoline, nije ju moguće danas komercijalno iskoristiti. Kada bi izgradili dovoljno veliki hidrostruj na vrući plin čiji bi izmjenjivački sklop djelomice bio uronjen u more (npr. do polovice), dok bi se preostali dio izmjenjivačkog sklopa nalazio iznad razine mora u zraku, već kod male temperaturne razlike između mora i okoline stroj bi se mogao staviti u pogon. Pri pokretanju stroja odmah bi počelo i relativno kretanje izmjenjivačkog sklopa, pa bi segmentne izmjenjivačke jedinice bile alternativno grijane ili hlađene. Toplinski hidrostruj bi praktički mogao raditi efikasno ljeti i zimi zbog univerzalnosti konstrukcijske izvedbe, koja omogućuje u svakom trenutku potpunu zamjenu položaja izvora topline i hlađenog prostora u odnosu na izmjenjivački sklop. Da bi se toplinski hidrostruj pokrenuo, nužna je samo dovoljna temperaturna razlika između mora i okoline. Tako npr. zimi kad je temperatura mora viša od okolnog zraka, koristila bi se toplinska energija mora, a zrak bi bio hlađeni prostor. Ljeti kad je temperatura mora niža, okolni zrak bi bio toplinski izvor, a more hlađeni prostor. Alternativno korištenje u ljetnom periodu moglo bi se dodatno kombinirati sa sunčevim dogrijavanjem kako je to već opisano.

Tako bi se toplinski hidrostruj na vrući plin mogao koristiti danju, noću, zimi, ljeti, uvijek kada postoji temperaturna razlika pojedinačno ili u posebnom slučaju, kao modularna konstrukcija. Zbog lakog pokretanja ili zaustavljanja bio bi pogodan kao vršna elektrana bez posebnih priprema, a koje su inače nužne kod klasičnih rješenja na konvencionalno gorivo.

## Otpadna industrijska toplota

Pomoću toplinskog hidrostroja na vrući plin mogu se iskorištavati sve vrste izvora niskotemperaturne otpadne topline bez obzira kako je nastala, jer se toplota dovodi s vanjske strane kolektora. Uvijek je potrebno kolektorski izmjenjivački sklop prilagoditi izvoru topline, odnosno hlađenom prostoru. Pri tome nije važno s koje se strane hidrostroja dovodi, a s koje odvodi toplota zbog već naznačene univerzalnosti konstrukcijske izvedbe, pa može raditi bez posebne pripreme u svim uvjetima.

Općenito, ova univerzalnost otvara široko područje korištenja bez posebnih priprema i dodatne usluge koja je inače nužna kod klasičnih konstrukcija, posebice pri iskorištavanju otpadne topline. U krajnjem slučaju izvor topline može preuzeti relativno kretanje umjesto izmjenjivačkog sklopa, pa se otpadna toplota može usmjeravati tako da izmjenjivač postaje trenutak vruć, trenutak hladan s istim učincima.

## Toplota iz obnovljivih i neobnovljivih goriva (plinovitih i tekućih ugljikovodika, drveta, biomase, pare, vrućeg zraka i dr.)

Specijalni slučaj dovoda topline na cilindre ili alternativno u cilindre na vrućoj strani, moguće je pomoću okretnog razvodnika vruće pare ili zraka i sustava usmjernih nepovratnih ventila iz akumulirajućeg spremnika. Također je toplinu moguće dobiti sagorijevanjem plinovitih ili tekućih ugljikovodika čiji bi se produkti izgaranja uvodili u cilindre, na primjer, neposredno prije faze ekspanzije slično kao kod motora s unutarnjim izgaranjem. Ispuštanje ohlađenih produkata izgaranja uslijedilo bi također preko nepovratnih ventila u najpovoljnijem položaju i trenutku ciklusa, npr. prije početka faze kompresije. Svakako bi se tada termodinamički radni ciklus transformirao u korigirani novi oblik. Tako bi ova mogućnost mogla zamijeniti klasične motore s unutarnjim izgaranjem ili plinske turbine s daleko boljim iskorištenjem topline. Za pogon parom mogla bi se u kotlovnica spaljivati biomasa, slama i gorivi otpaci svake vrste, a dobivena toplota bolje i učinkovitije iskoristiti nego što je to danas u parnim turbinama.

## PATENTNI ZAHTEJEVI

1. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin (slika 3, 4 i 5) za pretvorbu toplinske energije u mehanički rad sastoji se od relativno okretnog karakterističnog sklopa I sastavljenog od: pokretnog rotacijskog izmjenjivača topline kojeg čine skup neovisnih parcijalnih segmentnih kolektora (1), složenih u obliku plašta valjka i povezanih u nastavku s uparenim segmentnim radnim cilindrima i pripadajućim slobodnim klipovima (2), ili alternativno segmentnim radnim komorama s elastičnom membranom (2'), u kojima je pod većim tlakom u zatvorenom prostoru neovisan radni plin; usmjernih kanala (3) za recirkulirajući nestlačivi medij, koji započinju na izlazu iz segmentnih radnih cilindara (2), ili alternativno segmentnih radnih komora (2'), polukružno se nastavljajući u obliku koncentrirajućih sužavajućih zakrivljenih kanala prema centru radnog lopatičnog kola (8); proširujućih povratnih zakrivljenih recirkulirajućih kanala (4) za radno i jalovo strujanje recirkulirajućeg medija; proširujućih povratnih zakrivljenih izuzimajućih kanala (5) za izuzimanje recirkulirajućeg medija prema segmentnim radnim cilindrima (2), ili alternativno segmentnim radnim komorama (2'); pokretnih lopatica (6), ili alternativno aksijalno pokretanih zatvarača (6') za usklađeno zatvaranje i otvaranje povratnih izuzimajućih kanala (5) i ozubljenja (7) povezanog na vanjsko kućište segmentnih cilindara (2), ili alternativno radnih komora (2') u obliku upisanog kruga; radno okretnog karakterističnog sklopa II sastavljenog od: radnog kola (8) sa zakrivljenim turbinskim lopatičnim kanalima, u kojima se pomoću recirkulirajućeg nestlačivog medija potisno hidrodinamičko strujanje pretvara u okretni mehanički rad radnog kola (8); izlazne radne osovine (9) na kojoj je čvrsto učvršćeno radno kolo (8); pogonskog prijenosnika (10) za relativno kretanje sklopa I također čvrsto učvršćenog na radnu osovinu (9); mehaničkog međuprijenosnika sklopa III sastavljenog od pogonjenog para međuprijenosnika (11) ekscentrično postavljenog u odnosu na radnu osovinu (9) spregnutog na ozubljenje (7) i pogonski prijenosnik (10) za ostvarenje suprotnog relativnog kretanja sklopa I, čiji obuhvatni nosač (12) drži slobodno uležištnu osovinu s međuprijenosnikom (11) na ekscentričnoj udaljenosti od radne osovine (9) i kruto učvršćenim za kućište ili postolje stroja (13).
2. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevu 1, **naznačen time**, uz pomoć radnog plina i nestlačivog recirkulirajućeg medija, dovodenjem topline radnom plinu preko dijela relativno pokretanog rotacijskog izmjenjivača topline (1) u vrućem prostoru i istovremenog odvođenja topline radnom plinu preko preostalog drugog dijela relativno pokretanog rotacijskog izmjenjivača topline (1) u svakom segmentnom cilindru (2), ili alternativno svakoj radnoj komori s elastičnom membranom (2') omogućuje stvaran, kontinuiran, ponovljiv i jedinstven desnokretno-kružni termodinamički ciklus (krivulja «a» i «b») za pretvaranje toplinske energije u mehanički rad sa sljedećim idealnim promjenama stanja radnog plina prikazanim u p-v i T-s dijagramu (slika 1 i 2): izotermne kompresije (1- 2) pri odvođenju topline u hladnom prostoru, izobarne ekspanzije (2-3) pri dovodenju topline u vrućem prostoru, izotermne ekspanzije (3-4) pri dovodenju topline u vrućem prostoru i izohornog odvođenja topline (4 -1) u hladnom prostoru.
3. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevu 1 i 2, **naznačen time**, ostvaruje sporije relativno kretanje relativno okretnog karakterističnog sklopa I s pripadajućim elementima (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) u odnosu na suprotno, brže glavno radno okretanje turbinskog radnog kola (8) i radne osovine (9) na karakterističnom sklopu II, s međusobno dobro usklađenim prijenosnim odnosom mehaničkog prijenosnika, ostvarenim između pogonskog zupčanika (10) na sklopu II, pogonjenog para međuzupčanika (11) na sklopu III i ozubljenja (7) na sklopu I, kojim se omogućuje optimalno, kontinuirano i istovremeno, najvećim dijelom izotermno dovodenje topline radnom plinu od izvora i izotermno odvođenje topline radnom plinu u hladnom prostoru, te skoro potpunu samoregeneraciju topline pri kraćim neizotermnim promjenama stanja naznačenog kružnog ciklusa (slika 1 i 2), bez uporabe dodatnih toplinski karakterističnih sklopova, akumulatora ili regeneratora topline.
4. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevu 1, 2 i 3, **naznačen time**, pomoću potisno radnog, povratno jalovog i povratno usisnog izuzimajućeg bezvrtložnog hidrodinamičkog strujanja nestlačivog recirkulirajućeg medija između radnih slobodnih klipova u segmentnim cilindrima (2), ili alternativno između elastičnih membrana u segmentnim radnim komorama (2') ostvaruje se prilagodljiva katalitička hidrodinamička veza između vrućeg i hladnog prostora bez značajnijeg faznog vremenskog pomaka između niza ekspanzija i niza kompresija radnog plina, iako se svaka zasebno, nalaze u određenom stadiju ciklusa, bez dodatnih toplinski karakterističnih sklopova i uređaja (kao što su to: akumulator i regenerator topline, razvodnik plina ili kruti polužni mehanizmi), koji su, u biti, isti sklopovi ili elementi s više zamjenskih funkcija, pretvarajući toplinu u rad odmah na najbolji mogući način onim intenzitetom kako nam ju pruža toplinski izvor i hladni prostor.
5. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevu 1, 2, 3 i 4, **naznačen time**, sadrži povratne zakrivljene kanale za recirkulaciju (4) za radno i jalovo strujanje recirkulirajućeg nestlačivog medija, koji započinju od izlaza iz radnog kola (8), proširujući se lučno prema obodu i spajajući se s usmjernim kanalima (3) na obodu, koji su u biti, isti kanali za radno i jalovo strujanje, kojima funkciju određuje relativni položaj u odnosu na izvor topline ili hladni prostor.
6. Toplinski hidrostroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevima 1, 2, 3, 4 i 5, **naznačen time**, sadrži povratne zakrivljene kanale za izuzimanje (5) recirkulirajućeg nestlačivog medija koji započinju na izlazu iz radnog kola (8), proširujući se lučno prema obodu i spajajući se na segmentne radne cilindre (2), ili alternativno segmentne radne komore (2'), koji su u biti, isti kanali kojima funkciju određuje relativni položaj u odnosu na hladni prostor.

7. Toplinski hidro stroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevima 1, 2, 3, 4, 5 i 6, **naznačen time**, sadrži lučno pokretne lopatice (6) na ulazima povratnih izuzimajućih kanala (5) koji zbog razlike između višeg ekspanzijskog tlaka radnog plina u vrućim segmentnim cilindrima (2), ili alternativno vrućim segmentnim radnim komorama (2') i znatno nižeg kompresijskog tlaka radnog plina u hlađenim segmentnim cilindrima (2), ili alternativno hlađenim segmentnim radnim komorama (2') otvaraju povratne izuzimajuće kanale (5) ostvarujući ulogu nepovratnih ventila i tako usmjeravajući dio recirkulirajućeg nestlačivog medija prema hlađenim segmentnim cilindrima (2), ili alternativno hlađenim segmentnim komorama (2') za popunu ispražnjenog prostora upravo toliko koliko je istisnuto iz vrućih segmentnih cilindara (2), ili alternativno vrućih segmentnih komora (2').
8. Toplinski hidro stroj s recirkulacijom na vrući plin prema zahtjevima 1, 2, 3, 4, 5 i 6, **naznačen time**, sadrži aksijalno pokretne zatvarače (6') za zatvaranje izlaza povratno izuzimajućih kanala (5) u vrućem dijelu ili otvaranje izlaza povratno izuzimajućih kanala (5) u hlađenom dijelu stroja, koji su kruto učvršćeni na slobodno pokretane klipove u radnim cilindrima (2), ili alternativno na elastične membrane u segmentnim radnim komorama (2') usmjeravajući dio recirkulirajućeg nestlačivog medija prema hlađenim segmentnim cilindrima (2), ili alternativno hlađenim segmentnim komorama (2') za popunu ispražnjenog prostora upravo toliko koliko je istisnuto iz vrućih segmentnih cilindara (2), ili alternativno vrućih segmentnih radnih komora (2').







